



Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària



**Creació d'un programa informàtic per al  
monitoratge dels paràmetres de treball i a l'ajut al  
guiatge d'un tractor agrícola.**

Creating a software for monitoring the working  
parameters and for guidance aid of a farm tractor

PROJECTE FINAL DE CARRERA

**CRISTIAN DALMAU CERDÀ**

**Departament d'Enginyeria Agroforestal**

**Lleida, Juny 2011**







Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària



# **Creació d'un programa informàtic per al monitoratge dels paràmetres de treball i a l'ajut al guiatge d'un tractor agrícola.**

Creating a software for monitoring the working  
parameters and for guidance aid of a farm tractor

PROJECTE FINAL DE CARRERA

**CRISTIAN DALMAU CERDÀ**

**Departament d'Enginyeria Agroforestal**

Tutor: Alexandre Escolà i Agustí

Co-tutor: Joan Masip Vilalta

**Lleida, Juny 2011**

A la Montse i  
a la família

# Agraïments

*A totes les persones que m'han fet costat durant tot el temps de dedicació quasi complerta a la realització d'aquest treball i a totes aquelles persones que en algun moment o altre han contribuït, directa o indirectament, a la realització de la "nostra" Sagrada Família. Els qui em coneixen saben que sem fa impossible anomenar-les a totes. Així doncs, si algú es sent "oblidat" prego em perdoni.*

*Crec que en primer lloc, he d'agrair pel suport, ajut, amor incondicional i paciència per haver-ho patit en primera línia de foc, a la Montse, gràcies per ser-hi i a la família també.*

*A l'Àlex, el meu tutor, agrair-li la seva dedicació en moments o períodes de temps els quals no hi estava gens obligat, l'excel·lent tasca de correcció i moltes accions més que l'honren com a persona. També gràcies per deixar-me el portàtil per a poder treballar fora del tractor.*

*A en Joan, cotutor, per l'ajut durant la caracterització del receptor GPS i gràcies per deixar-me el receptor Garmin per a poder treballar des de casa.*

*A les persones del Centre de Mecanització Agrària (CMA), al Felip, al Pere, al Jaume, a l'Àngel, a l'Alba, a la Maite, a la Montse, al Ferran, etc.. Gràcies a tots ells, els períodes de millores i de proves al centre han estat més amens i divertits. En especial volia agrair a en Felip per la disposició de les instal·lacions, dels materials i del tractor sempre que ha calgut. A en Pere i a en Jaume per ajudar-me amb les qüestions mecàniques, elèctriques i de transport del tractor sempre que ha calgut, sobretot durant les dues vegades que el tractor em va deixar tirat en mig del "camp de proves". Sense tots ells no hauria pogut realitzar els assajos que aquí exposo.*

*A l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida per facilitar-me l'ús de les instal·lacions i materials per a la realització de la caracterització del GPS, part de les proves, de les comprovacions prèvies i pel préstec de l'aparell Leica.*

*A l'IRTA de Gimènells per a poder disposar de les dues parcel·les on es va validar el sistema resultant, sense les quals no hauria estat possible l'obtenció de les dades del projecte i per poder utilitzar el garatge per al tractor del CMA.*





# Índex general

Índex general .....	i
Índex de figures .....	ii
Índex de taules .....	vi
Resum .....	viii
Resumen .....	ix
Abstract .....	x
 1. Introducció .....	 1
2. Antecedents .....	4
2.1. Hardware i software de monitoratge al mercat .....	5
2.2. Agricultura de precisió i sistemes de posicionament .....	8
2.3. Sistemes d'ajut al guiatge .....	9
3. Objectius .....	15
4. Millora del programa de monitoratge previ .....	17
4.1. Funcionament del <i>Bloc principal del programa</i> .....	23
4.2. Funcionament <i>Adquisició de dades</i> .....	25
4.3. Funcionament de l'Adquisició de la posició GPS i la velocitat via GPS .....	30
4.4. Funcionament del bucle Diàlegs per no aturar el Programa principal .....	33
5. Ajut al guiatge .....	37
5.1. Materials i mètodes .....	37
5.1.1. Caracterització del receptor GPS .....	37
5.1.1.a. Descripció del receptor .....	37
5.1.1.b. Descripció i característiques dels sistemes de correcció de coordenades .....	38
5.1.1.c. Descripció de la prova de precisió .....	40
5.1.1.d. Descripció de l'anàlisi de resultats .....	46
5.1.2. Sistema de guiatge .....	50
5.1.2.a. Principi de funcionament .....	50
5.1.2.b. Funcionament del Mòdul de l'ajut al guiatge .....	54
5.1.2.c. Assaig de validació del sistema de guiatge .....	59
5.1.2.c.i. Plantació fruitera .....	60
5.1.2.c.ii. Terra camp .....	60
5.1.2.d. Anàlisi de les dades .....	61
5.2. Resultats .....	62
5.2.1. Caracterització del receptor .....	62
5.2.2. Sistema de guiatge .....	71
5.2.2.a. Plantacions fruiteres .....	71
5.2.2.b. Terra camp .....	90
6. Conclusions .....	109
7. Futurs desenvolupaments .....	112
8. Bibliografia .....	114
9. Annexos .....	9-1
Annex A : Figures corresponents a l'explicació del programa dissenyat .....	9-1
Annex B : Figures corresponents a l'explicació del mòdul Ajut al Guiatge .....	9-28
Annex C : Diagrama de flux complet del programa finalitzat en A3 .....	9-35
Annex D : Annex digital A3 .....	Contraportada

# Índex de figures

Figura 2.1: Marcador d'escuma emprat en terra campa .....	4
Figura 2.2: Maquinària de John Deere® treballant amb ajut al guiatge .....	9
Figura 2.3: Maquinària diversa treballant amb els sistemes de guiatge de John Deere® .....	10
Figura 2.4: Tipus de guiatges disponibles amb els sistemes de "AG Leader Technology" .....	12
Figura 4.1: Diagrama de flux de la lectura de comptadors i transformació de les dades .....	23
Figura 4.2: Diagrama de flux del bucle adquisició de dades .....	25
Figura 4.3: Diagrama de flux de la petició d'entrada de les dades de repetibilitat de l'assaig .....	27
Figura 4.4: Diagrama de flux de la seqüència d'enregistrament .....	28
Figura 4.5: Diagrama de flux de l'adquisició i processat de la sentència NMEA GPRMC .....	30
Figura 4.6: Diagrama de flux del bucle Diàlegs per a no aturar el Programa principal .....	33
Figura 5.1: Esquema del principi de funcionament del guiatge .....	51
Figura 5.2: Esquema del funcionament per la presa de decisió del mòdul previ al guiatge .....	52
Figura 5.3: Diagrama de flux del mòdul d'ajut al guiatge .....	53
Figura 5.4: Situació de l'estació experimental de l'IRTA de Lleida ubicada a Gimènells .....	59
Figura 5.5: Situació de la parcel·la de fruiters on es va realitzar la validació de l'ajut al guiatge .....	59
Figura 5.6: Situació de la parcel·la de terra campa on es va realitzar la validació de l'ajut al guiatge .....	60
Figura 5.7: Representació esquemàtica de les desviacions en la trajectòria real respecte la ideal .....	61
Figura 5.8: Gràfic de barres representant en metres el radi estadístic 2DRMS i CEP seguint l'ordre d'enumeració del tipus de correcció .....	63
Figura 5.9: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A sense correcció diferencial .....	64
Figura 5.10: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial EGNOS .....	64
Figura 5.11: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial agrònoms de l'IRW .....	65
Figura 5.12: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial virtual de l'IRW .....	65
Figura 5.13: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial Omnistar .....	66
Figura 5.14: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B sense correcció diferencial .....	66
Figura 5.15: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial EGNOS .....	67
Figura 5.16: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial agrònoms de l'IRW .....	67



Figura 5.17: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial virtual de l'IRW .....	68
Figura 5.18: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial Omnistar .....	68
Figura 5.19: Gràfic del resultat de totes les mesures amb els cercles 2DRMS i la mitjana de la posició de cada correcció DGPS d'ambdós punts .....	69
Figura 5.20: Gràfic del resultat de totes les mesures amb els cercles 2DRMS i CEP i la mitjana de la posició de cada correcció DGPS d'ambdós punts .....	70
Figura 5.21: Gràfic representant la primera passada control en fruiters (15122009_RTK_2PCA) .....	72
Figura 5.22: Histograma que representa les desviacions de la primera passada control en fruiters (15122009_RTK_2PCA) .....	72
Figura 5.23: Gràfic representant la segona passada control en fruiters (15122009_RTK_2PCB) .....	73
Figura 5.24: Histograma que representa les desviacions de la segona passada control en fruiters (15122009_RTK_2PCB) .....	73
Figura 5.25: Gràfic representant la tercera passada control en fruiters (15122009_RTK_2PCC) .....	74
Figura 5.26: Histograma que representa les desviacions de la tercera passada control en fruiters (15122009_RTK_2PCC) .....	74
Figura 5.27: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3A) .....	76
Figura 5.28: Histograma que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3A) .....	76
Figura 5.29: Gràfic representant la repetició de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3AA) .....	77
Figura 5.30: Histograma que representa les desviacions de la repetició de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3AA) .....	77
Figura 5.31: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3B) .....	78
Figura 5.32: Histograma que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3B) .....	78
Figura 5.33: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3C) .....	79
Figura 5.34: Histograma que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR3C) .....	79
Figura 5.35: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR10A) .....	81
Figura 5.36: Histograma que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR10A) .....	81
Figura 5.37: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR10B) .....	82

Figura 5.38: Histograma que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR10B) .....	82
Figura 5.39: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR10C) .....	83
Figura 5.40: Histograma que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR10C) .....	83
Figura 5.41: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR50A) .....	85
Figura 5.42: Histograma que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR50A) .....	85
Figura 5.43: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR50B) .....	86
Figura 5.44: Histograma que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR50B) .....	86
Figura 5.45: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR50C) .....	87
Figura 5.46: Histograma que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres en fruiters (15122009_RTK_2PR50C) .....	87
Figura 5.47: Gràfic representant la primera passada control en terra campà (15122009_RTK_2TPCA) .....	91
Figura 5.48: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada control en terra campà (15122009_RTK_2TPCA) .....	91
Figura 5.49: Gràfic representant la segona passada control en terra campà (15122009_RTK_2TPCB) .....	92
Figura 5.50: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada control en terra campà (15122009_RTK_2TPCB) .....	92
Figura 5.51: Gràfic representant la tercera passada control en terra campà (15122009_RTK_2TPCC) .....	93
Figura 5.52: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada control en terra campà (15122009_RTK_2TPCC) .....	93
Figura 5.53: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR3A) .....	95
Figura 5.54: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR3A) .....	95
Figura 5.55: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR10A) .....	96
Figura 5.56: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR10A) .....	96
Figura 5.57: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR10A). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta .....	97

Figura 5.58: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR10B) .....	98
Figura 5.59: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR10B) .....	98
Figura 5.60: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR10CC) .....	99
Figura 5.61: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR10CC) .....	99
Figura 5.62: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50A) .....	101
Figura 5.63: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50A) .....	101
Figura 5.64: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50A). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta .....	102
Figura 5.65: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50B) .....	102
Figura 5.66: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50B) .....	103
Figura 5.67: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50B). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta .....	103
Figura 5.68: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50CC) .....	104
Figura 5.69: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50CC) .....	104
Figura 5.70: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009_RTK_2TPR50CC). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta .....	105



# Índex de taules

Taula 5.1: Mitjana de les coordenades de la posició mesurada .....	62
Taula 5.2: Valors de 2DRMS i CEP .....	63
Taula 5.3: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	75
Taula 5.4: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	75
Taula 5.5: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajud al guiatge a 3 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	80
Taula 5.6: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajud al guiatge a 3 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	80
Taula 5.7: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajud al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	84
Taula 5.8: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajud al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	84
Taula 5.9: Estadístics descriptius de les repeticions de passada ajud al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	88
Taula 5.10: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajud al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	88
Taula 5.11: Estadístics descriptius de totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge en fruiters ..	89
Taula 5.12: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge en fruiters .....	89
Taula 5.13: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	94
Taula 5.14: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	94
Taula 5.15: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajud al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	100
Taula 5.16: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajud al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	100
Taula 5.17: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajud al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	106
Taula 5.18: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajud al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge .....	106
Taula 5.19: Estadístics descriptius de totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge a la terra campa .....	107

Taula 5.20: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge a la terra campa .....	107
---	-----

## Resum

L'objectiu final d'aquest Projecte Fi de Carrera és desenvolupar un sistema d'ajut al guiatge universal adaptable a qualsevol vehicle que permeti incrementar significativament l'eficiència de les feines a realitzar per la maquinària al camp. El sistema proposat es pot configurar d'acord amb les característiques de la maquinària o de la tasca a realitzar i és capaç de guiar en línia recta i crear paral·leles a la passada recta de referència. Sistemes semblants es poden trobar al mercat sobretot per a maquinària de nova adquisició però sense la versatilitat del sistema dissenyat.

Un dels objectius intermedis és millorar el rendiment, la fiabilitat i la usabilitat del programari de monitoratge inicial instal·lat al tractor. L'altre objectiu intermedi és caracteritzar el receptor GPS AgGPS 332 de Trimble® per a comprovar la precisió de l'aparell amb algunes de les correccions diferencials possibles, citades i no citades al manual, acceptades per l'aparell.

Una vegada caracteritzat el receptor GPS, millorat el programa de monitoratge i desenvolupat el sistema d'ajut al guiatge es va validar el programari en una parcel·la de fruiters i en una de terra campa. Es va assajar el sistema d'ajut al guiatge utilitzant tres distàncies de guiatge diferents per a observar si variava la precisió del guiatge.

Els resultats obtinguts en la millora del programa de monitoratge són molt satisfactoris a l'haver corregit imprecisions de funcionament que en limitaven l'usabilitat.

Els resultats obtinguts en la caracterització del receptor AgGPS 332 permeten valorar millor quin tipus de correcció diferencial és més convenient per a la precisió de treball requerida segons el seu cost de posada en marxa i de funcionament.

Els resultats obtinguts en la validació de l'ajut al guiatge, han validat el guiatge a 10 metres vista com un ajut al guiatge equivalent al guiatge manual quan la velocitat de treball és de 5 km/h, el tractorista té referències visuals i no està fatigat. Els resultats obtinguts pels guiatges a 3 i 50 metres no són satisfactoris a 5 km/h.

Tanmateix, durant el procés de disseny, la realització dels assajos i durant l'anàlisi de resultats s'han identificat algunes mancances i limitacions i es proposen una sèrie de millores per tal de solucionar-les. Tot i que el sistema resultant és vàlid per al guiatge en línia recta, cal seguir modificant-lo per tal d'aconseguir un sistema d'ajut al guiatge complet que permeti crear automàticament el recorregut i guiar en qualsevol tipus de trajectòria i detectar, entre d'altres, obstacles que hi puguin haver al camí per a evitar col·lisions.

**Paraules clau:** monitoratge, guiatge, ajut al guiatge, sensors, LabView, SSNG, GPS, NMEA, agricultura de precisió, maquinària, WASS, EGNOS, Omnistar, Internet Radio Windows Ntrip GNSS, lowcost, correcció diferencial.



# Resumen

El objetivo final de este Proyecto Final de Carrera es desarrollar un sistema de ayuda al guiado universal adaptable a cualquier vehículo que permita incrementar significativamente la eficiencia de los trabajos a realizar por la maquinaria en el campo. El sistema propuesto se puede configurar de acuerdo con las características de la maquinaria o de la tarea a realizar y es capaz de guiar en línea recta y crear paralelas a la pasada recta de referencia. En el mercado se pueden encontrar sistemas parecidos sobre todo para maquinaria de nueva adquisición pero sin la versatilidad del sistema diseñado.

Uno de los objetivos intermedios es mejorar el rendimiento, la fiabilidad y la usabilidad del programa de monitoreo inicial instalado en el tractor. El otro objetivo intermedio es caracterizar el receptor GPS AgGPS 332 de Trimble® para comprobar la precisión del aparato con algunas de las correcciones diferenciales posibles, citadas y no citadas en el manual, aceptadas por el aparato.

Con el receptor GPS caracterizado, el programa de monitoreo mejorado y el sistema de ayuda al guiado desarrollado se validó el programa en una parcela de frutales y en una de tierra campá. Se ensayó el sistema de ayuda al guiado utilizando tres distancias de guiado diferentes para observar si variaba la precisión del guiado.

Los resultados obtenidos en la mejora del programa de monitoreo son muy satisfactorios por haber corregido imprecisiones de funcionamiento que limitaban su usabilidad.

Los resultados obtenidos en la caracterización del receptor AgGPS 332 permiten valorar mejor que tipo de corrección diferencial es más conveniente para la precisión de trabajo requerida según el coste de puesta en marcha y de funcionamiento.

Los resultados obtenidos en la validación de la ayuda al guiado, han validado el guiado a 10 metros vista como una ayuda al guiado equivalente al guiado manual cuando la velocidad de trabajo es de 5 km/h, el tractorista tiene referencias visuales y no está fatigado. Los resultados obtenidos por los guiados a 3 y 50 metros no son satisfactorios a 5 km/h.

Sin embargo, durante el proceso de diseño, la realización de los ensayos y durante el análisis de los resultados se ha identificado algunas carencias y limitaciones y se proponen una serie de mejoras para solucionarlas. Aunque el sistema resultante es válido para el guiado en línea recta, necesita más modificaciones para conseguir un sistema de ayuda al guiado completo que permita crear automáticamente el recorrido y guiar en cualquier tipo de trayectoria y detectar, entre otros, obstáculos que pueda haber en el camino para evitar colisiones.

**Palabras clave:** monitoreo, guiado, ayuda al guiado, sensores, LabView, SSNG, GPS, NMEA, agricultura de precisión, maquinaria, WASS, EGNOS, Omnistar, Internet Radio Windows Ntrip GNSS, lowcost, corrección diferencial.

# Abstract

The final objective of this End of Degree Project is to develop a universal guidance aid system adaptable to any vehicle to significantly increase the working efficiency of farm machinery. The proposed system can be configured according to the farm machinery characteristics or to the task and is able to help farmers to follow straight parallel lines created lines from a reference reference. Similar systems are available in the market mainly for new acquisition farm machinery but without the versatility of the designed system.

An intermediate objective is to improve performance, reliability and usability of the initial monitoring software installed on a tractor. The other intermediate objective is to characterize the Trimble® GPS receiver AgGPS 332 to verify the accuracy of the apparatus with some of the possible differential corrections, cited and not cited in the manual, accepted by the device.

The guidance aid system has been validated on a fruit tree orchard and on a tillaged field with no crop. The guidance aid system has been tested using three different horizon guiding distances to analyze whether the precision of guidance was affected.

The obtained results in improving the monitoring program were satisfactory achieving a more accurate and user friendly piece of software.

The results in the AgGPS 332 receiver characterization allow to better assess what type of differential correction is more convenient for the required precision of work depending on the cost of implementation and operation.

The obtained results in the validation of the guidance aid system, prove the guidance to 10 meters view to be equivalent to the manual steering when the working speed is 5 km/h, the tractor driver has visual references and is not fatigued. The results obtained by the guidance to 3 and 50 meters view are not satisfactory at 5 km/h.

However, during the design process, conducting trials and during the analysis results some shortcomings and limitations have been identified and a series of improvements have been proposed to solve them. Although the resulting system is valid for straight lines guidance, there is a need to improve it to achieve a full guidance aid system that allows to automatically create a route and guide the user. It would also be interesting to detect, among others, obstacles there may be on the road to avoid collisions.

**Keywords:** monitoring, guidance, guidance aid, sensors, LabVIEW, GNSS, GPS, , precision agriculture, agricultural machinery, WASS, EGNOS, Omnistar, Internet Radio Windows Ntrip GNSS, lowcost, differential correction.





# Introducció



## 1. Introducció

L'aparició de la maquinària agrícola impulsada per energies fòssils representà per a l'agricultura un canvi molt important des del punt de vista socioeconòmic. Tot i que els primers tractors daten del 1890, fou durant la dècada dels anys 50 del segle XX quan es va estendre l'ús del tractor al camp aconseguint un espectacular increment del rendiment i de l'eficiència en els treballs culturals contribuint a la reducció de la mà d'obra necessària per a realitzar-los.

La mecanització ha anat evolucionant constantment quant a l'energia fòssil utilitzada, al rendiment de l'energia i de la feina, incrementant la potència de treball, diversificant les tasques a desenvolupar i millorant l'ergonomia de l'operari.

En les dues últimes dècades el sector de l'agricultura ha experimentat una gran evolució pel que fa a la incorporació d'altres tecnologies que progressen vertiginosament. Primerament s'incorporà l'electrònica a mida que es va anar abaratint exponencialment el seu cost. Alguns exemples com la incorporació de sensors i sistemes que permeten la conservació de la fruita en cambres frigorífiques d'atmosfera controlada, la quantificació del gra collit per unitat de superfície per una recol·lectora i com a herència d'altres sectors com el de l'automòbil el control de tracció en la maquinària autopropulsada mostren una realitat al sector agrícola avui en dia imprescindible.

A mesura que l'electrònica prenia importància dins el sector incrementant la complexitat en les tasques a controlar, s'incrementava la dificultat de mantenir el sistema sota control. Paral·lelament la informàtica s'abaratia. Aquesta permet controlar i gestionar els sistemes electrònics remotament, i al tractar-se d'un món virtual pot ser més dinàmica la modificació de les ordres a seguir per part del sistema. Alguns exemples de l'aplicació informàtica en el sector agrícola com el control i la gestió de les estacions de reg i la zona de regants corresponent, el monitoratge del mapa de rendiment de producció d'una parcel·la o el monitoratge i control del funcionament d'una indústria agroalimentària mostren una realitat al sector que avui en dia encara està en plena evolució.

Una de les últimes tecnologies incorporades al sector és el Sistema Satel·litari de Navegació Global (SSNG) que permet situar la maquinària en una posició en el mapa global a temps real.

La fusió d'aquestes dues primeres tecnologies en l'agricultura permeten l'automatització de tasques que serien complicades o molt cares per la mà d'obra com el control de cabals i pressió en les xarxes de reg a temps real, el reconeixement de males herbes en un camp en guaret o entre les fileres d'arbres per a polvoritzar herbicida únicament sobre les males herbes i no sobre el terra, la detecció de massa foliar en plantacions arbòries en filera per a l'aplicació de fitosanitaris en funció d'aquesta massa foliar. Totes aquestes automatitzacions permeten un increment del rendiment de les explotacions i com a conseqüència una reducció dels costos de producció. Si a això s'afegeix la tercera tecnologia (SSNG) a la maquinària agrícola, es poden crear mapes de rendiment incorporant a les dades de la tasca realitzada la dada de posició global corresponent.

En aquest projecte final de carrera (PFC) es fusionen les tres tecnologies per a aconseguir més informació durant l'execució dels treballs agrícoles per a poder incrementar el rendiment de les entrades de matèria i energia al sistema. Així es pot incrementar l'eficiència en l'aplicació de productes

perillosos pel medi reduint la contaminació ambiental i els seus efectes nocius a curt, mitjà i llarg termini, a més de reduir els costos d'exploració.

La finalitat del projecte és iniciar un camí cap a un sistema de monitoratge i guiatge més configurable per tal d'adaptar-lo a les necessitats individuals de cada usuari i tasca a desenvolupar que els presents al mercat. A més, el projecte s'ha desenvolupat en el marc d'un grup de recerca que, entre les seves línies de treball, té intenció de desenvolupar un vehicle agrícola automotriu. Les eines desenvolupades en aquest PFC s'han dut a terme amb la finalitat d'ésser implementades en aquest o futurs desenvolupaments. Amb la perspectiva de futur per a automatitzar el guiatge de qualsevol tipus de vehicle, agrícola o no.

# Antecedents



## 2. Antecedents

Actualment, els esforços es destinen a millorar l'eficiència de les feines a desenvolupar per a la maquinària, és a dir, realitzar més treball per unitat de temps, fet que dona lloc a la possibilitat de reduir els costos de la maquinària per unitat de superfície treballada.

Prenent l'eficiència com el quocient entre el temps útil i el temps total que s'hi ha destinat (Equació 2.1), l'eficiència de treball està condicionada per l'eficiència energètica i de tracció, el temps de les maniobres, la geometria del camp i el solapament entre passades.

$$E = \frac{T_u}{T_t}$$

Equació 2.1:

On E és l'eficiència de la feina,  $T_u$  és el temps útil de la feina i  $T_t$  és el temps total que s'hi destina.

El temps de les maniobres es pot disminuir equipant al tractor amb un sistema capaç d'executar seqüències de moviments optimitzats per a cada cas, permetent al tractorista situar-se a l'inici de la següent passada més ràpidament i còmoda. La concentració parcel·lària és una estratègia que s'està aplicant des de fa uns anys als nous regadius del nostre territori. Aquesta consisteix en unificar la totalitat de les parcel·les de cada propietari dins del territori del regadiu en una única finca o finques més grans i més properes entre elles. Aquest fet permet optimitzar els paràmetres lligats a la geometria del camp i dels temps morts dedicats al transport de la maquinària, augmentant-ne l'eficiència.

Per tal de reduir el solapament entre passades i optimitzar el recorregut a realitzar dins la parcel·la, s'han creat sistemes per a guiar al tractorista per tal de mantenir la trajectòria de la maquinària el més fidel possible a la traçada òptima establerta. Aquests sistemes han evolucionat passant per marcadors manuals (emprant mà d'obra per a ubicar els punts a seguir, per exemple amb estakes de fusta), marcadors mecànics o visuals temporals que deixa la maquinària al seu pas (solcs a terra, marcadors d'escuma (Figura 2.1), etc.).



Figura 2.1: Marcador d'escuma emprat en terra campà.

Aquests tipus de marcadors deixen una referència de la línia que separa la zona treballada i la que manca. Així doncs, l'operador té una referència visual a seguir més efectiva per evitar els solapaments i/o zones sense treballar aconseguint una operació més eficient.

Aquests sistemes d'ajut al guiatge, molt utilitzats en l'actualitat, tenen inconvenients lligats a les condicions ambientals com la meteorologia (boira, vent, ...), a condicions de treball (pols, aigua,...) i

condicions d'il·luminació que permeten al tractorista la visualització de les referències dificultant les feines en horari nocturn. Els mètodes de guiatge d'alta tecnologia com són els rajos làser d'infrarojos, els sensors d'ultrasons i els sistemes de posicionament, permeten al tractorista poder guiar-se en condicions sense llum o de mala visibilitat. En aquest treball, s'ha escollit desenvolupar un sistema de guiatge basat en sistemes satel·litaris de navegació global (SSNG) dins l'agricultura de precisió per tal de crear un software de baix cost apte per a qualsevol tipus de maquinària.

Gràcies a la tecnologia dels SSNG i a la implementació de la maquinària amb els sensors adequats, a mesura que aquesta va treballant, podem obtenir informació que, a temps real indica: les variacions de rendiment i humitat del cultiu, la proporció de males herbes, el volum foliar, etc.. Si aquesta informació es relaciona directament amb les coordenades de posició que indiqui el sistema, es poden realitzar mapes de producció, d'infestació de males herbes, de densitat foliar, de les parcel·les, etc..

Aquests mapes de producció o collita es poden complementar introduint, de manera externa, altra informació d'interès agronòmic com pot ser el pH del sòl, el contingut en matèria orgànica, el contingut en minerals, la producció d'anys anteriors, etc. Així, es pot estudiar la possibilitat d'aplicar un maneig diferencial dins la parcel·la en funció de la variabilitat d'aquests paràmetres.

A més a més, també ens indica la geometria de la parcel·la, la zona on s'està treballant en tot moment amb un sistema de guiatge, la trajectòria exacta a seguir respecte les passades anteriors i contigües minimitzant els solapaments i augmentant l'eficiència de treball. Fins i tot, és possible deixar la conducció de la maquinària al sistema d'autoguiatge via SSNG, on el tractorista passa a ser el supervisor que controla el correcte funcionament de l'operació i pren el control en cas de funcionament anòmal i a les capçaleres.

Entre d'altres, la finalitat d'aquest treball és crear un programa capaç de donar instruccions precises al conductor perquè segueixi una trajectòria paral·lela a la preestablerta. Per tal d'avaluar la precisió necessària s'analitzaran cinc tipus de correccions diferencials de les coordenades determinades pel sistema de posicionament.

## 2.1. Hardware i software de monitoratge al mercat

Al mercat es poden trobar empreses que ofereixen els seus programes personalitzats i aparells pel monitoratge dels processos industrials o agrícoles que requereixi el client. Per posar algun exemple, alguns d'aquests programes estan basats en el sistema "SCADA" (**S**upervisory **C**ontrol and **D**ata **A**cquisition) especialment dissenyat per a treballar sobre ordinadors en el control de producció proporcionant comunicació entre els controladors autònoms, controlant el procés de forma autònoma i proporcionant tota la informació que es genera en el procés productiu a diversos usuaris dins de la mateixa empresa. D'altres estan basats en "LabView"<sup>®</sup>, un dels seus objectius és reduir el temps de desenvolupament d'aplicacions de tot tipus i permetre l'entrada a la informàtica a professionals de qualsevol especialitat.

El terme SCADA es sol referir a un sistema centralitzat de monitoratge i control de la totalitat d'un lloc o d'una part d'aquest que ens interessa controlar (màquines d'una indústria, dipòsits, bombes i vàlvules d'una estació de bombeig, etc) que pot estar a una llarga distància del centre de control (kilòmetres). La major part del control "in situ" és realitzada automàticament per una Unitat Terminal Remota (UTR o RTU), per un Controlador Lògic Programable (PLC) i/o per un Controlador Automàtic Programable (PAC). Des del centre de control es poden modificar les consignes amb les que es basen aquestes unitats automàtiques a l'hora de prendre les decisions programades.

Els aparells PAC estan orientats al control automatitzat, al disseny de prototips i a la mesura de paràmetres. El PAC fa referència al conjunt format per un controlador o CPU, mòduls d'entrades i sortides i un o múltiples busos de dades que els interconnecten. Aquest controlador combina la fiabilitat de control d'un autòmat (PLC) amb la flexibilitat de monitoratge i càlcul d'un ordinador.

Els aparells PLC poden comunicar-se amb altres controladors i ordinadors amb xarxes locals, són robustos, normalment estan fets a mida del sistema i es poden tornar a programar durant la seva vida útil.

Els aparells RTU són dispositius basats en microprocessadors que permeten obtenir senyals independents dels processos i enviar la informació remotament pel seu processat. Generalment el lloc on envia aquesta informació és el centre de control on hi ha un sistema SCADA. Els PLC complementen als RTU per la facilitat de comunicació entre ells.

LabView és un llenguatge de programació gràfica creat per National Instruments el 1976. La característica principal és la facilitat d'ús, les persones amb pocs coneixements de programació poden realitzar programes relativament complexos impossibles de fer per a elles amb llenguatges de programació per text o codi usats per professionals. És molt ràpid fer programes amb LabView i qualsevol programador se'n pot beneficiar. Amb LabView es poden crear programes amb milers d'instruments virtuals (o VI com són anomenats els programes fets amb LabView) amb multitud d'entrades i sortides de dades. LabView permet integrar VIs en noves aplicacions i realitzar pràctiques per a optimitzar el rendiment i la qualitat de la programació. National Instruments ofereix maquinari propi programable amb LabView, però també pot ser programat per funcionar amb maquinari aliè.

Ambdós sistemes permeten crear un entorn gràfic per a l'usuari o interfície en un ordinador, en un panell esquemàtic o en ambdós alhora.

Un protocol de comunicació més específic per a la maquinària agrícola és el ISOBUS sorgit de la norma ISO 11783 per a la comunicació tractor-arreu en l'agricultura de precisió. Es tracta d'un sistema de comunicació estandarditzat que permet l'acoblament de qualsevol arreu i maquinari que incorpori ISOBUS amb un maquinari present a la cabina del conductor. A aquest sistema també està connectat els diferents controladors de la maquinària com el del motor, el de la direcció, etc. Això permet al conductor poder visualitzar el procés de qualsevol part de la maquinària que controla a un sol toc a la pantalla del seu maquinari. També permetrà automatitzar el funcionament de la maquinària fins al punt que el conductor serà un simple espectador del procés, intervenint solament quan es produeixin errors del sistema i en tasques crítiques de difícil solució per a un autòmat.

La norma ISOBUS especifica una estructura de dades en sèrie per al control i les comunicacions en la silvicultura i en tractors i complements agrícoles. El sistema funciona comunicant-se per totes les parts en un únic camí físic que les enllaça totes. Es compon de diverses parts: una norma general per a la comunicació activa de dades, la part física, la part d'enllaç de les dades, la part de xarxa, la gestió de xarxa, terminals virtuals, els missatges de les aplicacions implementades, missatges del tren de potència, la unitat de control electrònic (ECU) del tractor, el controlador de tasques i l'intercanvi d'informació sobre la gestió de dades del sistema, diccionari de dades dels elements mòbils, de diagnòstic i del servidor de fitxers.

Per a l'execució dels programes d'automatització és necessari un ordinador com a suport físic que permeti el processat de les dades i de les tasques dissenyades per al programa. Si l'ordinador ha d'estar exposat a condicions ambientals extremes o en condicions desfavorables per a un ordinador d'oficina, cal utilitzar un ordinador industrial.

Els ordinadors industrials s'utilitzen principalment per al control de processos i/o adquisició de dades. En alguns casos simplement són els intermediaris entre els processos i els equips del centre de control. El maquinari pot ser personalitzat per a una aplicació concreta. Els ordinadors industrials ofereixen millors característiques en fiabilitat, compatibilitat, opcions d'expansió i de subministrament a llarg termini en front als ordinadors d'oficina. Al fabricar els ordinadors industrials en volums més baixos que els d'oficina o de casa, solen costar bastant més que un equivalent als d'oficina en prestacions i rendiment. Es poden trobar ordinadors industrials compactes amb una pantalla LCD (normalment tàctil) muntats en panell per a la interacció amb l'usuari. S'ofereixen versions amb proteccions ambientals baixes o nul·les, IP properes al IP00. Hi ha altres models més pesants amb segellats IP67 a prova d'aigua en el panell frontal i també models a prova d'explosions per a ser instal·lats en ambients perillosos. Els fabricants poden fer o adaptar ordinadors industrials de panell per als requisits de rendiment i segons la disponibilitat pressupostària dels compradors mitjançant l'ús de diferents processadors i sistemes operatius. La majoria dels models bàsics es munten amb processadors VIA i plataforma Linux. Els de gamma mitjana es munten sobretot amb processador AMD. Els de gammes superiors es solen muntar amb processadors Intel i plataformes de Microsoft Windows. Segons els fabricants, les plataformes Windows són més estables que les Linux però poc adaptables, mentre que les Linux es poden adaptar molt més.

En quant a la construcció i les característiques, pràcticament tots els ordinadors industrials comparteixen la premissa de proporcionar un entorn controlat per a l'electrònica instal·lada per sobreviure al les condicions de treball de la planta. Com ara fortes vibracions, temperatures extremes, humitat elevada i la pols. Els components electrònics en si mateixos poden ser seleccionats per la seva capacitat de suportar les altes i baixes temperatures de funcionament en front als típics components comercials. Els ordinadors industrials poden incorporar:

- Estructura de metall pesada en comparació amb els equips d'oficina no resistents,
- Refrigeració addicional amb aire filtrat,
- Mètodes de refredament amb aire forçat, refrigeració líquida i la passiva per conducció,
- Retenció de la targeta d'expansió i suport,
- Millora de filtratge de l'aire de refrigeració i juntes d'estanquitat per a una major protecció envers les condicions ambientals com la pols, la polvorització d'aigua o a prova d'immersió, etc,
- Millor font d'alimentació i capacitat per alimentar-se a baixa tensió de 24V dissenyat per al seu ús amb bateries
- Accés restringit als controls mitjançant l'ús de portes blocants,
- Accés controlat a les entrades i sortides mitjançant l'ús de tapes d'accés,
- Es pot incloure un comptador de temps com a gos guardià per a reiniciar el sistema automàticament en cas de bloqueig del programari.



## 2.2. Agricultura de precisió i sistemes de posicionament

En general, els agricultors tractaven i tracten els camps com a parcel·les amb el terreny uniforme, aplicant fertilitzants i altres inputs sense tenir en compte les variacions espaials de les característiques del camp. Això pot provocar un excés o defecte de matèries primeres en zones específiques de la parcel·la. Les zones deficitàries no assoleixen nivells òptims de producció i les tractades amb excés poden produir contaminació mediambiental i un augment dels costos.

Sistemes que tracten el terreny punt per punt, com proposa l'agricultura de precisió, proporcionen un mètode on s'assoleix conjuntament: la reducció de costos, l'optimització del resultat de la collita i la protecció del medi ambient.

L'agricultura de precisió consisteix en automatitzar la gestió punt per punt de cultius utilitzant les tecnologies de la informació com el sistema de posicionament per satèl·lit per a poder integrar la posició i el temps en tots els procediments relacionats amb l'agricultura. L'agricultura de precisió proporciona la capacitat de recopilar, interpretar i aplicar la informació específica de les explotacions, transformant les dades i la informació en coneixement i rendibilitat. Aquest sistema possibilita una gestió agronòmica més eficaç i permet augmentar la precisió dels treballs cultural i la eficiència dels equips.

Entre els beneficis de l'agricultura de precisió es pot destacar la gestió optimitzada de les explotacions, la reducció en l'aplicació de pesticides i fertilitzants, menor impacte mediambiental, productes agrícoles amb valor nutritiu superior, reducció del consum de combustible i d'altres beneficis relacionats en gabinet quan es revisa la informació, per exemple saber si un tractor estava aturat innecessàriament.

Segons Heimlich (1998) l'agricultura de precisió correspon a una estratègia d'administració que utilitza tecnologia de la informació i les comunicacions per a recollir dades útils de diverses fonts amb la finalitat de donar suport a decisions associades a la producció de cultius.

El terme genèric sistema satel·litari de navegació global o "Global Navigation Satellite System" (GNSS) defineix els sistemes de navegació per satèl·lit que proporcionen posicionament geo-espacial amb una cobertura mundial. El SSNG permet a petits receptors electrònics determinar la seva localització (longitud, latitud i altitud) amb una precisió entre uns pocs metres i uns centímetres (amb correccions RTK o algunes Diferencials).

Generalment, la cobertura global per a qualsevol SSNG s'aconsegueix amb una constel·lació de 20 a 30 satèl·lits de mitjana en òrbita terrestre (MEO) repartits entre diversos plans orbitals.

El SSNG més important actualment és el NAVSTAR Global Positioning System (GPS) dels Estats Units d'Amèrica i es compon de 32 satèl·lits en òrbita de mitjana (28 funcionals i 4 de suport). Operatiu des del 1978 i disponible a nivell mundial a partir del 1994.

La Unió Europea té previst tenir en funcionament el 2012 el SSNG Galileu, l'alternativa europea al GPS i actualment en fase inicial de desplegament, amb una funcionalitat total el 2014. S'espera que Galileu sigui compatible amb el sistema GPS modernitzat fent possible que els receptors puguin combinar ambdós sistemes per a augmentar considerablement la precisió.

Des del col·lapse de la Unió Soviètica, el SSNG *GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (GLObal NAVigation Satellite System) o "GLONASS" es va anar degradant, però darrerament sembla que el govern rus ha reactivat el manteniment de la constel·lació posant en òrbita satèl·lits nous amb l'objectiu de recuperar la fiabilitat i la funcionalitat del seu SSNG.

La República Popular de la Xina ampliarà el seu sistema de navegació regional “Beidou” o “Óssa Major” al SSNG “Compass” per l’any 2020. El sistema “Compass” utilitzarà 30 satèl·lits en òrbita de mitjana i cinc satèl·lits geostacionaris.

### 2.3. Sistemes d’ajut al guiatge

Les empreses especialitzades en tecnologia GPS han observat una nova via comercial per als seus productes i s’han adaptat a les necessitats del món agrícola. Trobem tant empreses d’informàtica com “Strategic Internet Information and Analysis” (SIIAA), com d’altres que amb una dilatada experiència en l’aprofitament d’aquesta tecnologia en diferents usos com són el civil, flotes marines, topografia, ... s’endinsen de ple en l’agricultura les empreses Trimble, Topcon, Geotrack i Leica, entre d’altres.

Al mercat hi ha dues possibilitats d’incorporar els sistemes d’ajut al guiatge a la maquinària agrícola. Una és comprar la maquinària amb el sistema ja instal·lat de fàbrica i l’altra adquirir un sistema “universal” per a instal·lar-lo a la maquinària que es posseeix. També hi ha fabricants de maquinària que ofereixen una alternativa mixta, l’aparell de la maquinària es pot desmuntar i tornar a muntar en una altra qualsevol.

El sistema d’autoguiatge (“AutoTrac”) i el de guiatge GreenStar2™ de John Deere® es poden instal·lar com a opció al tractor nou o adquirir a posteriori i instal·lar-lo (Figura 2.2). Aquests sistemes També es poden incorporar a la maquinària d’altres fabricants traslladant tot l’equip (Figura 2.3). Aquests són uns sistemes comercials que permeten guiar el tractor durant la pràctica cultural a realitzar. Només es necessari traçar la primera passada, identificar-la com la pista 0, i deixar que a partir d’aquí prengui el control el sistema “AutoTrac”. El tractorista ha de donar la volta al tractor quan arriba al final del camp i evitar els possibles obstacles, però polsant un botó, el sistema “AutoTrac” pren el control amb la major precisió possible mitjançant el sistema GPS.

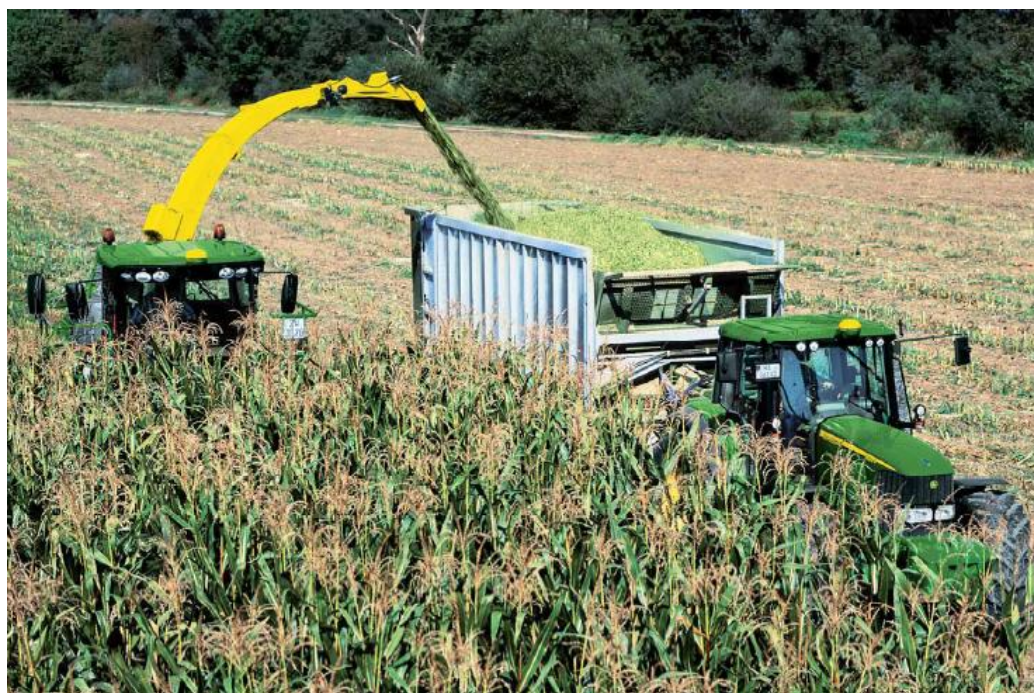


Figura 2.2: Maquinària de John Deere® treballant amb ajut al guiatge.



Figura 2.3: Maquinària diversa treballant amb els sistemes de guiatge de John Deere®.

El sistema d'ajut al guiatge ("SmartSteer") i de direcció ("FastSteer") de New Holland® es pot incorporar tant com a opció a la maquinària de nova adquisició com instal·lar i configurar en la majoria dels tractors que tenen direcció hidràulica. Els sistemes de correcció de coordenades es coneixen amb el nom de DGPS i s'utilitzen per incrementar la precisió dels receptors dels SSNG (apartat 5.1.1.b). El sistema d'ajut al guiatge utilitza el sistema DGPS i inclou una barra de llums i una pantalla de cristall líquid amb diferents modes de visualització, que indica el camí a seguir. Aquest, memoritza la ruta d'un camí inicial i guia a l'operador per a conduir de forma paral·lela en les següents passades. El sistema de direcció permet al tractorista concentrar-se al màxim en l'arreu. Basant-se en el recorregut inicial registrat, i utilitzant els resultats del processador del DGPS, el sistema compta amb un motor elèctric per a accionar una roda de fricció que gira el volant fent que el tractor realitzi passades paral·leles. Sempre que faci falta, n'hi ha prou amb girar el volant per a desactivar la conducció assistida. El mòdul de control del sistema conté acceleròmetres electrònics i giroscopis que compensen el moviment sobre el terreny i mantenen la precisió del recorregut fins i tot quan es treballa en terrenys accidentats o en pendents.

Massey Ferguson® substituirà el seu sistema propi "Auto-Guide 2" pels sistemes de guiatge "System 110" i "System 150" de Topcon® en els tractors de nova adquisició (MASSEY FERGUSON. 2010). El System 110 és un sistema bàsic de guiatge i control mitjançant una barra de llums que es pot instal·lar a qualsevol maquinària autopropulsada. Aquest sistema es pot actualitzar fàcilment al System 150. Aquest, utilitza la informació de posicionament de diverses constel·lacions de satèl·lits procedents dels diferents sistemes de SSNG, de manera que ofereix un servei de posicionament molt més sòlid. El sistema requereix un tractor preparat per al guiatge automàtic. Disposa d'un receptor muntat al sostre del vehicle i d'una pantalla de cabina de color de 12.5 cm amb tecles d'accés directe on mostra la posició visual de l'àrea d'aplicació, la velocitat, el nombre de fileres i la informació referent als satèl·lits. També inclou un port USB per a poder intercanviar informació amb l'exterior. El "Topcon System 150" inclou quatre modes de guiatge: línies rectes paral·leles, corbes idèntiques, corbes adaptables i espiral en pivot. En un futur pròxim estarà disponible el sistema "Topcon AES25" que inclou un volant amb un alt par motor per a oferir una precisió excel·lent i un funcionament silencios.

El sistema d'ajut al guiatge "Auto-GuidePro" és el sistema de guiatge pels tractors Fendt®. El sistema incorpora un mòdul de gestió de capçaleres "VariotronicTI" que permet agilitzar el gir a les capçaleres ajudat amb una vàlvula de direcció proporcional incorporat al sistema de gir. El sistema inclou tres modes de guiatge: "Fendt-proLine" per a realitzar rectes paral·leles (unint el punt inicial i el punt final de

la primera passada com a recta de referència), “Fendt-proContour” per a realitzar corbes paral·leles i “Fendt-proCircle” per a realitzar trajectòries circulars. Aquest sistema diferencia les zones treballades de les que manquen i permet marcar el punt on s’ha de parar per motius estratègics de funcionament, per exemple manca de caldo fitosanitari. També permet enregistrar obstacles, els límits del camp i altres imprevistos que succeeixin. Mitjançant un senyal òptic i un acústic avisarà al maquinista quan s’hi acosti. Quant a precisions, s’ofereixen tres tipus: “Auto-Guide Standard VBS” mitjançant “OmniSTAR VBS” amb una precisió estàtica i dinàmica de 80 i 20 cm respectivament, “Auto-Guide Precision HP” mitjançant “OmniSTAR HP” amb una precisió estàtica i dinàmica de 10 i 5 cm respectivament i “Auto-Guide High Precision BS” mitjançant una estació base amb una precisió de 2 cm tant estàtica com dinàmica.

Case IH agriculture® ofereix sistemes d’ajut al guiatge i d’autoguiatge com a opció en els seus tractors i per a tractors aliens. Els sistemes d’ajut al guiatge o guiatge manual memoritzen la primera passada i realitzen paral·leles a ella. L’“EZ-Guide Pro 250” ofereix una precisió per sota del metre fins a 15-20 cm amb l’antena opcional “AG15”, disposa de 15 leds per a mantenir la trajectòria i d’una unitat USB per a intercanviar dades. També es pot actualitzar amb el sistema de direcció assistida “AgGPS EZ-Steer® 500”. L’“EZ-Guide Pro 500” disposa d’un receptor GPS de doble freqüència oferint precisions des dels 15-20 cm fins 2.54 cm. Igual que el model 250, també disposa d’una unitat USB per a l’intercanvi de dades, a més dels informes d’impressió. Els sistemes d’autoguiatge utilitzen la correcció DGPS per a l’obtenció de la posició, la tecnologia de correcció d’imperfeccions del terreny T2 i T3 i una roda de fricció per a la direcció (EZ-Steer). La guia automàtica “AccuGuide™” de “AFS” és el sistema d’autoguiatge incorporat com a opció en els tractors Case IH®. Es compon per una pantalla tàctil (“AFS PRO 600”) de 26.4 cm i compleix la norma ISO 11783, un receptor GPS (“GPS AFS262”) capaç de rebre senyal satel·litari i terrestre amb una precisió de: 2 cm amb “Case IH RTK”, 5-10 cm a 25-30 cm amb OmniSTAR™ HP i 15-30 cm a 0.5-1 m amb EGNOS DGPS Omni VBS i pel controlador de navegació “Navigation Controller II”. L’“AFS AccuGuide™” es pot completar amb una vàlvula de direcció electrònica amb un detector de direcció que rep ordres directament del “Navigation Controller II” i amb una estació base RTK amb ràdio per a millorar la precisió per sota dels 2.54 cm.

L’“Automatic Steering Guide” (ASG) de “DEUTZ-FAHR” és un sistema de guiatge amb una precisió de 10 a 25 cm amb una correcció diferencial DGPS i una precisió de 2 cm amb l’estació base “DEUTZ-FAHR Agrosky ASG”. Amb l’estació base, pot reprendre les feines utilitzant les mateixes passades un any després de la sembra amb una desviació màxima de 2 cm. El sistema es capaç de guiar en espiral, en forma de quadrat, rectes secants en un mateix punt fora de la parcel·la, rectes paral·leles i fins i tot una combinació entre elles en una mateixa parcel·la. Per a marcar la primera passada només cal introduir la marca del punt inicial de la passada i conduir fins el punt final. Llavors el sistema crea una recta del punt inicial al final i construeix les rectes paral·leles. Gràcies a la correcció topogràfica es pot utilitzar sense problemes en terrenys muntanyencs o amb pendent. La vàlvula de gir d’alta precisió permet realitzar passades sense malmetre el cultiu establert. El sistema es compon per una antena doble, una vàlvula de gir, un sensor d’angle de gir, una pantalla tàctil i una unitat de control. Com a opció es pot adquirir una estació base RTK.

L’empresa “CLAAS” ofereix tres tipus d’ajut al guiatge no basats en la tecnologia SSNG i dos tipus basats en aquesta tecnologia: “S Lite Claas GPS Pilot” i “Claas GPS Pilot” amb “Omnistar HP” o amb “Baseline HD” o amb RTK. Amb “Steering Guide™” i el sistema “S Lite Claas” el tractorista pot guiar la màquina en línies rectes paral·leles o al llarg de trajectòries corbes amb una precisió de +/- 15 a 30 cm amb l’EGNOS. Es pot utilitzar en qualsevol màquina de la marca. Disposava de port de dades RS-232 i Bluetooth per a l’intercanvi de dades amb l’exterior. “GPS Pilot” és el sistema d’autoguiatge de la marca. La precisió del sistema depèn del senyal que s’utilitzi. Amb EGNOS s’obté una precisió de +/- 15 a 30 cm, amb Omnistar HP de +/- 5 a 10 cm, amb Baseline HD de +/- 4 a 6 cm i amb RTK de +/- 2 a 3 cm. El sistema es pot actualitzar des de qualsevol dels quatre tipus de senyal. Emprant “Steering Guide™” “GPS Pilot” pot guiar la màquina en línia recta, corba o en cercle. Disposava d’1 GB de memòria interna i de port USB 2.0 per a l’intercanvi de dades i per a carregar actualitzacions del programari. El mode AB serveix per a



treballar en línies rectes paral·leles. L'usuari realitza la primera passada i el sistema guia durant la resta. El mode de contorn calcula l'àrea del camp a partir de la primera passada del tractorista pels límits del camp. Llavors crea les passades paral·leles a seguir. El mode cercle permet treballar en superfícies circulars, un pivot per exemple. L'usuari realitza la primera volta i el sistema en calcula les paral·leles consecutives de dins a fora. En tots els casos l'amplada de treball la defineix la primera passada. La marca disposa de dos tipus d'RTK, el sistema mòbil que anomena "Baseline HD" i el sistema fix ubicat en un edifici o petita construcció feta a tal propòsit que anomena "RTK".

L'empresa "AG Leader Technology" ofereix diferents sistemes d'autoguiatge adaptables a qualsevol vehicle autopropulsat de manera fàcil i ràpida. El "GPS 1500" és el sistema compacte de la marca ideat per a tasques on la precisió necessària sigui relativa, ja que la precisió màxima que assoleix és la proporcionada per la correcció diferencial WAAS/EGNOS. L'aparell amb més prestacions disponible és el comandament automatitzat "ParaDyme™" de doble antena i equipat amb la tecnologia "Logic7D™" que permet obtenir informació per a calcular l'angle de gir del volant sense cap sensor d'angle, el capcineig, balanceig i patinada (deriva a causa de la desviació de l'implement o turons laterals) de la maquinària. La precisió amb WAAS/EGNOS és de 15 a 20 cm, amb OmniSTAR XP és de 8 a 12 cm, amb OmniSTAR HP és de 5 a 10 cm i de 2 cm amb RTK. Permet sol·licitar suport tècnic a través de la pantalla del sistema per a permetre als tècnics realitzar ajustos a distància. Hi ha dues pantalles per a escollir, l'"EDGE" i la "INTEGRA", una té la pantalla extra gran i l'altra és compacta. Els modes disponibles són recta AB, recta A+, corba idèntica, corba adaptativa, pivot i "SmartPath™" a la versió 2010 (Figura 2.4). Si la maquinària no disposa de direcció hidràulica, es pot adquirir el comandament assistit "OnTrac2™" d'instal·lació senzilla i ràpida. Es millora la fiabilitat en els girs perquè no funciona per fricció amb el volant.

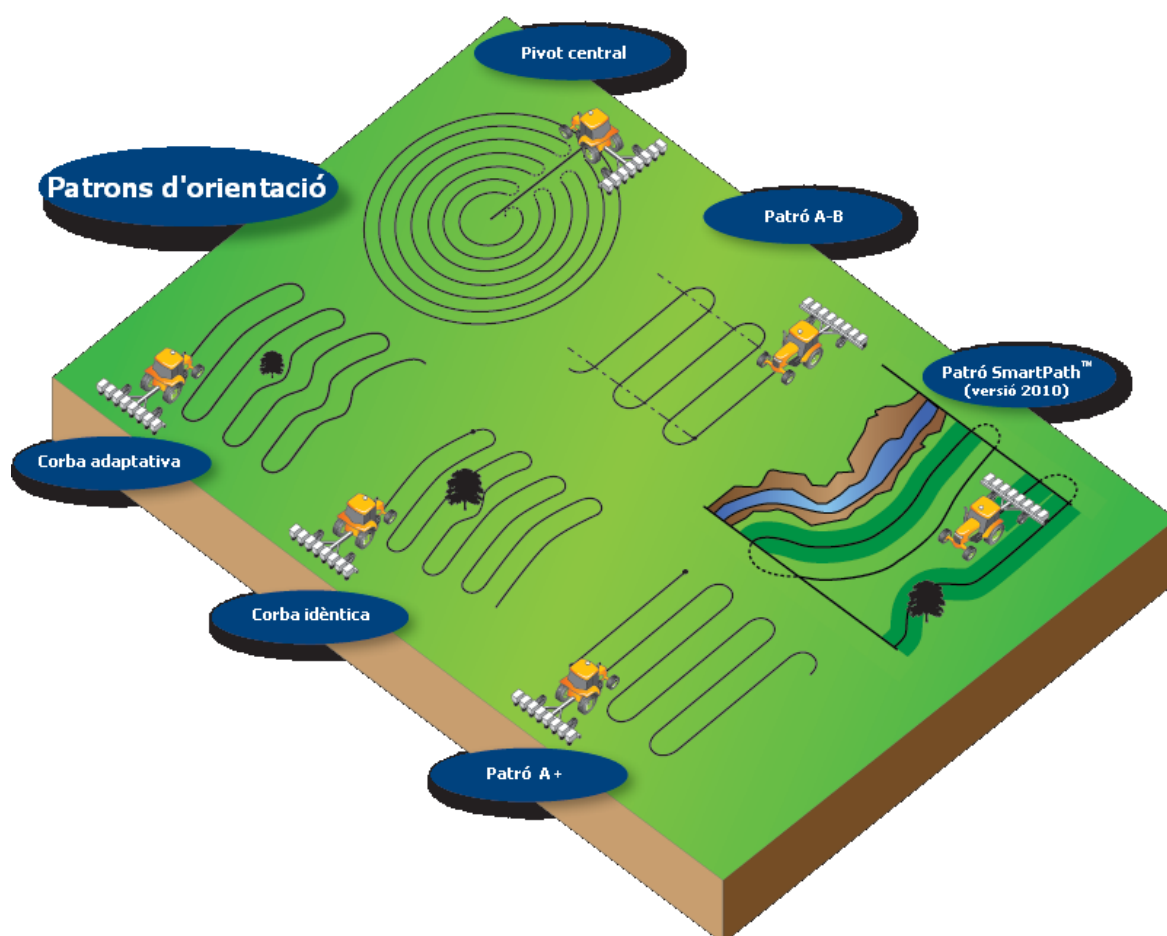


Figura 2.4: Tipus de guiatge disponibles amb els sistemes de "AG Leader Technology".

SIIAA ofereix el sistema “Track’n’guide”, un equip informàtic que junt amb un receptor SSNG es pot instal·lar a qualsevol vehicle agrícola, mostrant a temps real a través d’un monitor la posició de la màquina i emmagatzemant dades de circulació per a confeccionar mapes de parcel·la i guiar en passades successives. Però no ofereix un sistema d’autoguiatge.

El sistema d’autoguiatge (“Autopilot HP”) de Trimble® es pot adquirir i muntar a qualsevol maquinària autopropulsada. Aquest sistema es connecta a la direcció assistida del tractor, llavors utilitzant la interfície de dins la cabina es pot seleccionar directament el traçat a seguir i veure’n el moviment a la pantalla. Una vegada que el sistema de pilotatge automàtic alinea el vehicle al començament d’una passada, la direcció automatitzada guia el vehicle suaument mentre es visualitza a la pantalla el cursor que representa el vehicle. Incorpora un sistema de compensació de terreny que assegura el correcte funcionament en pendents i terrenys irregulars.

L’empresa Trimble® és potser la que més experiència mostra en la utilització del GPS, i és la que subministra als fabricants de maquinària que no han desenvolupat tecnologia pròpia i recorren a ella per a cobrir les demandes del mercat. Disposa d’un ampli ventall de solucions que van des del guiatge assistit (amb els productes EzGuide+ i EzGuide+ 252 amb precisions que van dels +/- 15 a 20 cm i +/- 5 a 10 cm respectivament) al guiatge automàtic (amb els productes Autopilot, l’Autopilot HP abans esmentat, i Ez-Steer amb correccions RTK i precisió +/- 2 cm). En tots els casos la informació és mostrada al tractorista a través de barres de llums i monitors de treball. És per l’experiència de Trimble amb el GPS el motiu pel qual s’ha escollit el model d’aparell AgGPS 332 per a realitzar totes les proves en aquest treball, tant les de precisió de les diferents correccions diferencials GPS com per l’ús del software creat a tal efecte i instal·lat a la maquinària agrícola. Però, al no disposar de la correcció RTK d’aquest aparell, s’utilitzà en la prova de camp per a determinar el nivell de guiatge l’aparell “LEICA SYSTEM 1200” de Leica disponible al departament d’Enginyeria rural del campus ETSEA de la Universitat de Lleida.

# Objectius



### 3. Objectius

- 3.1. Millora del programa informàtic d'un sistema de monitoratge de paràmetres de funcionament d'un tractor agrícola.
- 3.2. Disseny i implementació de noves funcionalitats al sistema de monitoratge:
  - 3.2.1. Caracteritzar el receptor SSNG de Trimble® AgGPS® 332 per a comprovar la precisió disponible pel sistema de guiatge.
  - 3.2.2. Estudiar les possibles correccions aplicables a l'aparell GPS i el seu efecte en la precisió de les coordenades per a la millora del posicionament seguint la filosofia "LowCost".
  - 3.2.3. Afegir la funcionalitat d'ajuda al guiatge amb la perspectiva que serveixi per a qualsevol vehicle autònom.
  - 3.2.4. Crear un mòdul per a ajudar a l'operari a anar recte tipus barra de llums que permeti realitzar paral·leles identificant les passades realitzades i que detecti quan es canvia de sentit i torni a indicar desviacions en traçats rectes.



Millora del programa  
de monitoratge previ



#### 4. Millora del programa de monitoratge previ

En aquest apartat, el que es pretenia era corregir i millorar els defectes de funcionament del programa previ per a obtenir un programa més sòlid per al funcionament del nou mòdul d'ajut al guiatge, així com per a millorar l'usabilitat del mateix afegint modificacions que permetin treure'n més profit. Val a dir que només es citen les correccions, millores i modificacions més rellevants ja que seria inviable explicar-les totes.

Els materials utilitzats han estat:

- ☞ Tractor Ebro 6070 SINCRO 12 de tracció simple amb cabina rígida.
- ☞ Antena i receptor GPS Trimble® AgGPS® 332 propietat del CMA.
- ☞ Suport d'antena GPS imantat.
- ☞ Cable i allargador d'antena receptor-antena, en total 5 metres.
- ☞ Ordinador industrial PIII 1.0 GHz amb SO Windows XP, 4 ports RS232 de 9 pins, 4 ports USB, refrigeració passiva i alimentació a 12V.
- ☞ Un connector RS-232 necessari per a comunicar el receptor amb l'ordinador.
- ☞ Teclat i Ratolí USB amb estoreta rígida.
- ☞ Pantalla tàctil de 19".
- ☞ Convertidor elèctric de 12V/220V de 150W amb endoll per a encenedor d'automòbil.
- ☞ Presa de corrent per a encenedor d'automòbil per a instal·lar al tractor.
- ☞ Suport de pantalla plana fixat a la cabina del tractor.
- ☞ Targeta d'adquisició multifunció.
- ☞ Cable connector placa adquisició RS232.
- ☞ 2 sensors de proximitat inductius per a adquirir el moviment de les rodes.
- ☞ 1 sensor de proximitat inductiu per a adquirir el moviment de la presa de força.
- ☞ 2 cabalímetres per mesurar el consum de combustible, un és per al retorn.
- ☞ Programa informàtic National Instruments LabView 7.1®.

A continuació es descriurà el tractor i els aparells instal·lats al tractor.

El tractor és un Ebro model 6070 Sincro 12 amb tracció simple i cabina tancada, propulsat per un motor Perkins® de quatre cilindres i 70 CV de potència. La transmissió consta de tres grups reductors amb quatre marxes endavant sincronitzades i una enrere. La presa de força té tres posicions: desactivada, activada de forma proporcional al motor o activa de forma proporcional a l'avanç. La direcció és hidràulica.

El receptor SSNG amb el que es va treballar és de la marca Trimble® dissenyat pel posicionament via GPS en l'agricultura. L'equip propietat del CMA està instal·lat al tractor per a realitzar proves a camp. L'equip consta d'una antena receptora de senyal GPS per a la recepció de dotze canals i dues freqüències de senyal, L1 i L2. L'ancoratge està imantat i és ideal per instal·lar al sostre metàl·lic del vehicle. L'aparell receptor disposa d'un monitor LCD d'1,5 x 7 cm (Figura A-16, veure annexos) i un sistema de cablatge genèric que permet adaptar-se a qualsevol aparell que disposi d'un connector RS-232 (Figura A-17) i qualsevol tractor o màquina del mercat que disposi d'una presa de 12V de corrent continu. El receptor està dissenyat per a ser ancorat mitjançant cargols i és millor instal·lar-lo a l'interior de l'habitacle per a poder reconfigurar-lo en cas que sigui necessari. Però segons el manual està preparat per a estar a la intempèrie. El sistema es pot configurar per tal de rebre el senyal de correcció diferencial EGNOS, (disponible gratuïtament a nivell europeu), la correcció marítima Radio Beacon (gratuïta a nivell

mundial), la correcció diferencial OMNISTAR HP/XP/VBS (de pagament) i la correcció RTK (es necessita una estació base) (Trimble 2005).

Els sensors de les rodes són sensors de proximitat inductius: en apropar-se'ls un element metàl·lic donen un senyal de sortida determinat.

Els cabalímetres per a mesurar el consum de combustible del motor i del retorn del combustible no utilitzat són sensors d'engrenatges ovalats que generen impulsos en funció del nombre de voltes que donen els engranatges.

A continuació es descriurà el programa de partida, s'explicaran les funcions que feia el programa a partir del qual l'autor va realitzar el seu projecte i a continuació de cada funció modificada o millorada es procedirà a explicar l'actuació que s'ha fet.

A l'obrir l'aplicació s'inicia mostrant la pestanya *Configuració* (Figura A-1). Abans d'executar el programa s'ha de definir el temps d'execució. Aquest temps serveix com a referència de la durada base mínima de cada repetició d'un grup de tasques. Per exemple, es defineix el temps d'execució en 10 mil·lisegons i la funció repetitiva és obtenir l'hora actual de l'ordinador. Es triga una mil·lèsima de segon en obtenir la informació i representar-la a la pantalla. El programa esperarà fins als 10 mil·lisegons (del temps d'execució) partint de l'inici de la funció abans de repetir-la, és a dir, 9 mil·lisegons. Però si es triga a obtenir l'hora 10 mil·lisegons o més, el programa repetirà la funció sense cap espera. Un cop definit el temps d'execució es pot iniciar el programa. A la versió executable l'usuari s'ha de conformar amb el temps d'execució definit pel programador. Aquesta versió és una opció de guardat que ofereix el programari LabView. La versió executable arrenca automàticament el programa en obrir l'aplicació i no requereix tenir instal·lat el LabView a l'ordinador per a funcionar. La modificació que es va realitzar en aquest punt fou la obligatorietat de definir el temps d'execució un cop arrencava el programa. Amb això es permet a l'usuari amb la versió executable del programa modificar i comprovar que ha introduït correctament el temps d'execució. Es pot saber si les repeticions estan trigant més temps del definit. A la Figura A-1 es poden observar les quatre llums de la part inferior esquerra on es pot llegir a cadascuna la paraula "retràs". Quan s'il·lumina una d'elles dona la informació que aquella part del programa està trigant més del compte. Aquí es va afegir dues llums més, representant el retard de les noves aplicacions aportades al programa (Figura A-5). I tot just a sobre, l'opció per a poder escollir si es desitja que es representi la velocitat adquirida a través dels sensors de les rodes o des de la informació facilitada pel receptor SSNG. Després de la petició del temps d'execució, es van incorporar uns diàlegs preguntant si el tractor ha funcionat mentre el programa estava desactivat i/o si s'ha modificat el nivell del dipòsit mentre el programa estava desactivat. Si una de les dues respostes és afirmativa, s'inicia l'aplicació per a poder modificar el nivell del dipòsit de combustible i el nivell de la reserva desitjada. Aquests nivells s'enregistren al finalitzar el programa en un arxiu al disc dur de l'ordinador i es carreguen al iniciar-lo.

A la pestanya *Configuració* (Figura A-1) s'hi visualitza el dia i l'hora del rellotge de l'ordinador. També es troba el desplegable per a escollir el port d'entrada a l'ordinador de les dades procedents del receptor SSNG, el botó virtual per a activar i desactivar l'adquisició de les dades, el nom de l'arxiu on s'enregistraran les dades obtingudes i la carpeta on es guardarà. En aquest punt, es va completar la configuració de l'entrada de la ruta d'enregistrament i del nom de l'arxiu de manera que es poguessin modificar durant el programa afegint un teclat virtual apte per a una pantalla tàctil. Simplement es col·loca el cursor a sobre del camp alfanumèric d'entrada de dades del nom de l'arxiu o de la carpeta i apareix el teclat tàctil QWERTY. S'escriu el nom de l'arxiu o la ruta de la carpeta i es prem acceptar. Per a evitar el canvi de nom de l'arxiu o de la carpeta de manera involuntària mentre l'adquisició està activada (perquè l'arxiu està en ús), el programa bloqueja l'aparició del teclat tàctil i emet un avís durant un segon i mig per informar sobre aquesta restricció (Figura A-64).

A la pestanya *Valors sensors* (Figura A-2) es troba el valor corresponent a la velocitat d'avanç real (expressada en km/h) provinent de les rodes davanteres (no motrius) o del receptor GPS, la velocitat d'avanç teòrica (expressada en km/h) provinent de les rodes posteriors (motrius) que poden lliscar, el percentatge d'aquest lliscament (Equació 4.1), la velocitat de rotació de la presa de força (r/min) i el consum de combustible instantani (l/h) del motor del tractor. També es troba un botó virtual que permet activar o desactivar l'adquisició de dades. En aquest apartat es van realitzar una sèrie d'actuacions de millora i de modificació en el disseny de la interfície per donar cabuda als visors de les noves implementacions del programa (Figura A-6). Es va afegir una barra de llums (Figura B-16) per a indicar el gir a realitzar pel tractorista durant el guiatge i un indicador lluminós (Figura B-14) informant sobre la disponibilitat de les passades durant el guiatge i un indicador de tendència de la presa de força (tot seguit es donarà més informació).

$$Ll = \frac{Vt - Vr}{Vt} \times 100$$

Equació 4.1:

On Ll és el lliscament de les rodes motrius del tractor, expressat en %, Vt és la velocitat teòrica del tractor i Vr és la velocitat real del tractor.

Quant a la programació d'aquest apartat es va corregir un error important i un error referent al valor del lliscament. Quan es calcula el lliscament i la velocitat teòrica és zero, es substitueix el valor no numèric resultant per un zero. L'error en el valor dels sensors succeïa quan s'iniciava el programa que s'ha modificat. Això passava perquè el valor inicial de les variables dels comptadors era zero, i al comparar-les amb el valor real dels comptadors donava una diferència excessivament elevada. Aquesta diferència donava valors de consum de l'ordre de fins a 4 xifres en els primers segons de funcionament buidant l'indicador virtual del dipòsit de combustible a l'instant. També donava valors de fins a 3 xifres en les lectures de la velocitat, però no eren rellevants al no buidar el dipòsit de combustible. Tot i això, per a evitar aquests valors anòmals s'ha tractat els quatre comptadors (el de velocitat real, el de velocitat teòrica, el de velocitat de la PDF i el del consum de combustible) per igual. S'ha utilitzat una funció del LabView anomenada "first call" que com el seu nom indica, la primera vegada que s'executa dona el valor lògic "veritat" i la resta dona valor lògic "fals". El resultat d'aquesta funció es connecta a una estructura condicional "case" de cert/fals, veure Figura A-28 i Figura A-29. Aquesta estructura conté dos o més camins de programació a escollir en funció del que s'hagi programat. En aquest cas, l'opció cert de l'estructura condicional (case) (Figura A-28), realitza dues lectures dels comptadors amb una diferència entre elles d'un temps d'execució per a determinar l'increment inicial dels comptadors. La segona lectura dels comptadors equival a la lectura anterior per a la següent subrutina *Sub Adq.Comptadors\_CeDeC*. A la Figura A-28 es pot observar un detall del diagrama de blocs del programa principal. Aquests apartats de la programació s'executa quan el programa arrenca per primera vegada la funció "first call". Com ja s'ha dit, els comptadors es llegeixen dues vegades distant un temps d'execució entre elles i se'n treu l'increment. Aquest increment es pren com els últims increments i pot ser inferior a zero quan el comptador arriba al valor límit i torna a l'inici. Donat el cas, es substitueix per un zero. Les quatre subrutines de la dreta llegeixen els comptadors, treuen l'increment i fan la mitjana dels 4 últims increments per a establir el valor. En el cas de la presa de força se n'usen 12 en comptes dels 4 del programa base per a estabilitzar el valor. Cal dir que al panell frontal s'ha incorporat un indicador on es mostra la tendència de la presa de força (Figura A-6). Aquest s'ha de prendre com a referència perquè el valor instantani és molt variable. Es va incorporar l'indicador de tendència perquè es va passar d'un senyal per volta en el sensor de la presa de força a 4 i de realitzar la mitjana amb els últims 4 valors al últims 12 per a estabilitzar el valor de representació de la velocitat de rotació. Però aquesta estabilització provoca que el valor real de la velocitat de rotació trigui al voltant de 10 temps d'execució en representar-se correctament o estabilitzar-se. Llavors, per necessitats pràctiques a l'hora d'establir la velocitat de rotació del motor del tractor necessària per a obtenir la velocitat desitjada de la presa de

força, cal l'indicador de tendència que no està estabilitzat per a donar la informació a l'usuari de l'ordre de magnitud de la velocitat de la presa de força a temps real. A la Figura A-29 s'observa el detall de la programació en funcionament quan no s'executa per primera vegada la funció "first call". És a dir, des de la segona fins l'última.

A la pestanya *GPS* (Figura A-3) es troba les coordenades de la posició GPS expressades en metres, el mateix valor numèric que s'hi visualitza a la pestanya *Valors sensors* de la velocitat real, la velocitat teòrica, el lliscament i la velocitat circular de la presa de força. També es troba una gràfica per a visualitzar gràficament el recorregut realitzat pel tractor amb un botó virtual que permet esborrar el representat a la gràfica i, com en la pestanya *Valors sensors*, un botó virtual que permet activar o desactiva l'adquisició de dades. La gràfica es va actualitzar afegint la representació de la posició ideal o objectiu a assolir pel tractor mentre el mòdul d'ajut al guiatge roman activat. En aquesta pestanya també es va modificar el disseny de visualització per donar cabuda a una barra de llums (Figura B-16) per a indicar el gir a realitzar pel tractorista i un indicador lluminós (Figura B-14) informant sobre la disponibilitat de les passades durant el guiatge (Figura A-7).

A la pestanya *Càlculs acumulats* (Figura A-4) es troba les coordenades de la posició del tractor expressades en metres, la velocitat real, la velocitat teòrica, el lliscament, la velocitat de rotació de la presa de força, el consum instantani, acumulat, horari mitjà (l/h) i unitari mitjà (l/ha) de combustible del motor, el temps acumulat (s), la distància recorreguda acumulada (m), l'amplada de treball, la superfície acumulada i el nivell de combustible estimat del dipòsit del tractor. El nivell és estimat perquè no es pot saber amb certesa el nivell exacte de combustible del dipòsit sense el sensor pertinent. Entre d'altres motius, perquè l'indicador del tractor es poc precís i s'ha d'arrencar el motor del tractor amb l'ordinador industrial aturat perquè el motor d'encesa demanda molta potència i l'ordinador es reinicia per manca d'energia. Totes les dades acumulades a excepció del nivell del dipòsit de combustible, es poden posar a zero mitjançant el botó virtual "Posar a 0". En aquesta pestanya també s'hi troba un botó virtual que permet iniciar o aturar l'adquisició de les dades i una gràfica més petita però amb la mateixa informació que la gràfica situada a la pestanya *GPS*. A la pestanya *Càlculs acumulats* també es van realitzar una sèrie d'actuacions de millora i de modificació del disseny de la interfície per a donar cabuda als visors de les noves implementacions del programa (Figura A-8). Com a les pestanyes *Valors sensors* i *GPS*, es va afegir una barra de llums d'ajut al guiatge per a indicar el gir a realitzar pel tractorista (Figura B-16) i un indicador lluminós (Figura B-14) informant sobre la disponibilitat de les passades durant el guiatge. Es va afegir un indicador gràfic de la velocitat mitjana (km/h) del tractor durant l'últim període de temps. I, finalment, es complementà la funció de l'indicador del nivell de combustible del dipòsit afegint un indicador funcional del nivell de reserva desitjat per l'usuari (Figura A-8), una alarma visual avisant que el nivell de combustible està per sota del nivell de la reserva (Figura A-58) i un botó virtual que permet modificar els valors del nivell del dipòsit de combustible i del nivell de la reserva. En prémer el botó per a modificar els paràmetres del dipòsit de combustible, l'usuari ha d'entrar les dades numèriques referents al dipòsit de combustible i per tant, apareix el teclat numèric de la Figura A-15 amb una frase curta per informar sobre què es demana. Primer cal entrar l'increment del nivell de gasoil al dipòsit. A continuació s'ha d'entrar el nivell de la reserva desitjada (que serà quan el programa generarà un avís). Poder modificar aquest nivell pot ser molt útil quan s'ha de traslladar la maquinària des del camp fins a un sortidor pròxim. Si es coneix el consum de combustible per a realitzar aquest trajecte, es pot fixar aquest volum més un percentatge de seguretat com a nivell de reserva. La subrutina *Sub poc gasoil dipòsit\_simplificat*, compara si el volum del dipòsit és inferior al volum de reserva desitjat, si es així dona l'ordre per a que surti en pantalla un diàleg avisant que es va en reserva (Figura A-58). I informa mitjançant una llum intermitent que es va en reserva fins que el volum de reserva sigui inferior al de dipòsit. Ja sigui afegint gasoil al dipòsit virtual de combustible com modificant el paràmetre de la reserva. També permet modificar el volum del dipòsit virtual si s'ha afegit o tret combustible i el volum de reserva desitjat. Al finalitzar el programa, el nivell virtual de combustible i el valor d'alarma de reserva s'enregistren a l'arxiu *c:/dipositgasoil.txt* per a poder-los recuperar en executar de nou el programa.

A part d'aquestes millores vinculades a les pestanyes, es van realitzar millores més generals o de programació. Les més rellevants són:

A l'iniciar l'adquisició, encara que s'hagi entrat el nom de l'arxiu per a enregistrar les dades es mostra l'arxiu en pantalla amb un teclat QWERTY per si es vol modificar. Quan s'ha introduït algun nom es comprova que no hi ha un arxiu anterior amb el mateix nom. Si existeix, consulta a l'usuari si el vol sobreescure o bé canviar de nom. Si s'escull la sobre escriptura el programa elimina l'arxiu anterior.

Un cop definit el nom de l'arxiu on s'enregistraran les dades de la feina, es comprova que s'hagi entrat el valor de l'amplada de treball corresponent. Si no s'ha entrat, s'avis a l'usuari mitjançant un diàleg i es carrega el teclat numèric de la Figura A-15 per introduir-lo. A continuació es pregunta informació referent a la repetibilitat de l'assaig com la velocitat del motor, la velocitat del tractor, la velocitat de la presa de força, el grup reductor de la transmissió i la marxa del tractor per a poder enregistrar-la (Figura 4.3) i utilitzar aquesta informació per a poder repetir la feina amb els mateixos paràmetres del tractor.

Quan el programa pot començar a adquirir les dades, demana si es vol o no reiniciar les dades acumulades (Figura A-40). Es va afegir un diàleg de confirmació per a quan s'escull la resposta negativa (Figura A-41). També es va afegir un diàleg que indica si s'han reiniciat o no abans de començar a enregistrar les dades (Figura A-42 i Figura A-43).

Es va millorar l'aspecte de visualització i es va complementar el diàleg resum que apareix al finalitzar l'adquisició de dades afegint les dades de la velocitat mitjana d'avanç (km/h), la velocitat mitjana de la presa de força (r/min) i l'amplada de treball corresponents al període de l'adquisició (Figura A-48 i Figura A-50).

Es va modificar la programació de l'aplicació per a evitar que s'aturi quan apareixen diàlegs informatius o d'entrada de dades. Si es col·loquen els diàlegs o les opcions d'entrada de dades que requereixen l'execució d'una subrutina paral·lela juntament amb la captació de les dades dels sensors com en el programa de partida, la lectura dels sensors queda interrompuda fins la finalització dels diàlegs informatius o d'entrada de dades. Això dona lloc a errors en la interpretació de les dades dels sensors. Donat que els impulsos d'aquests es segueixen sumant a la placa d'adquisició durant l'aturada. Quan es tornen a llegir s'obtenen pics dels valors que no són reals. Per tant, es van separar tots els diàlegs informatius o d'entrada de dades dels bloc de tasques que llegeixen els ports d'entrada de dades.

A continuació s'explicarà el més rellevant del funcionament del programa final (Figura C-1) a excepció de la implementació a l'ajut al guiatge.

S'ha programat en cinc bucles de temps diferents per a realitzar cinc tasques paral·leles. Aquestes són: *Bloc del programa*, *Adquisició de dades*, *Adquisició de la posició GPS i la velocitat via GPS*, *Mòdul de l'ajut al guiatge* i *Diàlegs per no aturar el Programa principal*. A continuació s'explicarà el funcionament de cadascun i la relació entre ells.

A la Figura A-5 es mostra una captura de pantalla del disseny de la pantalla corresponent a la pestanya *Configuració*, on es mostra la configuració de visualització per defecte a excepció del rellotge que mostra el dia i l'hora actuals. En aquesta pestanya es poden observar les sis llums de la part inferior esquerra on es pot llegir a cadascuna la paraula retràs. Quan s'il·lumina una d'elles dona la informació que aquella part del programa està trigant més del compte. I tot just a sobre, l'opció per a poder escollir si es desitja que es representi la velocitat adquirida a través dels sensors de les rodes o des de la informació facilitada pel receptor SSNG. També s'hi visualitza el dia i l'hora del rellotge de l'ordinador i es troba el desplegable per a escollir el port d'entrada a l'ordinador de les dades procedents del receptor SSNG, el botó virtual per a activar i desactivar l'adquisició de les dades, el nom de l'arxiu on s'enregistraran les dades obtingudes i la carpeta on es guardarà. A la Figura A-6, Figura A-7, Figura A-8 i Figura A-9 es mostra una captura de pantalla de com es divisa la pestanya corresponent amb la configuració de visualització per defecte. A la Figura A-10 es mostra una captura de pantalla de com es divisa la pestanya *Trajecte ideal* quan el botó "ACTIVAT" i el botó "Iniciar Ajut al Guiatge" estan seleccionats.

Primer de tot, el programa assigna a les variables el valor inicial corresponent pel bon funcionament del programa i configura el port d'entrada de dades des del GPS. Paral·lelament, demana a l'usuari el temps d'execució del programa (temps entre cada obtenció de dades) (Figura A-11) i la seva confirmació (Figura A-12). Mitjançant l'accionament virtual de la Figura A-11 es pot escollir el temps d'execució. Per defecte és de 1000 mil·lisegons. La interfície de la Figura A-12 serveix per a poder canviar el temps d'execució en cas d'error sense haver de reiniciar el programa. Tot seguit, carrega l'arxiu dels paràmetres del dipòsit de combustible i pregunta si ha estat modificat (Figura A-13 i Figura A-14). La Figura A-14 només apareix si a la Figura A-13 es selecciona "no". En tots dos casos, quan l'usuari selecciona un "Sí" ha d'entrar dades numèriques referents al dipòsit de combustible i per tant, apareix un teclat numèric apte per a l'entrada de dades numèriques amb un teclat tàctil (Figura A-15) amb una frase curta per a informar sobre què es demana. Primer cal entrar el nivell de gasoil del dipòsit. A continuació s'ha d'entrar el nivell de la reserva desitjada (que serà quan el programa generarà un avís).

Ara ja està establert el temps base del bucle i el nivell inicial del dipòsit, així com el valor de reserva desitjat. Per tant, el programa pot començar a funcionar. Per defecte s'inicia amb la pestanya *Valors sensors* de les cinc pestanyes de la interfície: *Configuració*, *Valors sensors*, *GPS*, *Càlculs acumulats* i *Trajecte Ideal* (respectivament: Figura A-5, Figura A-6, Figura A-7, Figura A-8 i Figura A-9).

#### 4.1. Funcionament del Bloc principal del programa.

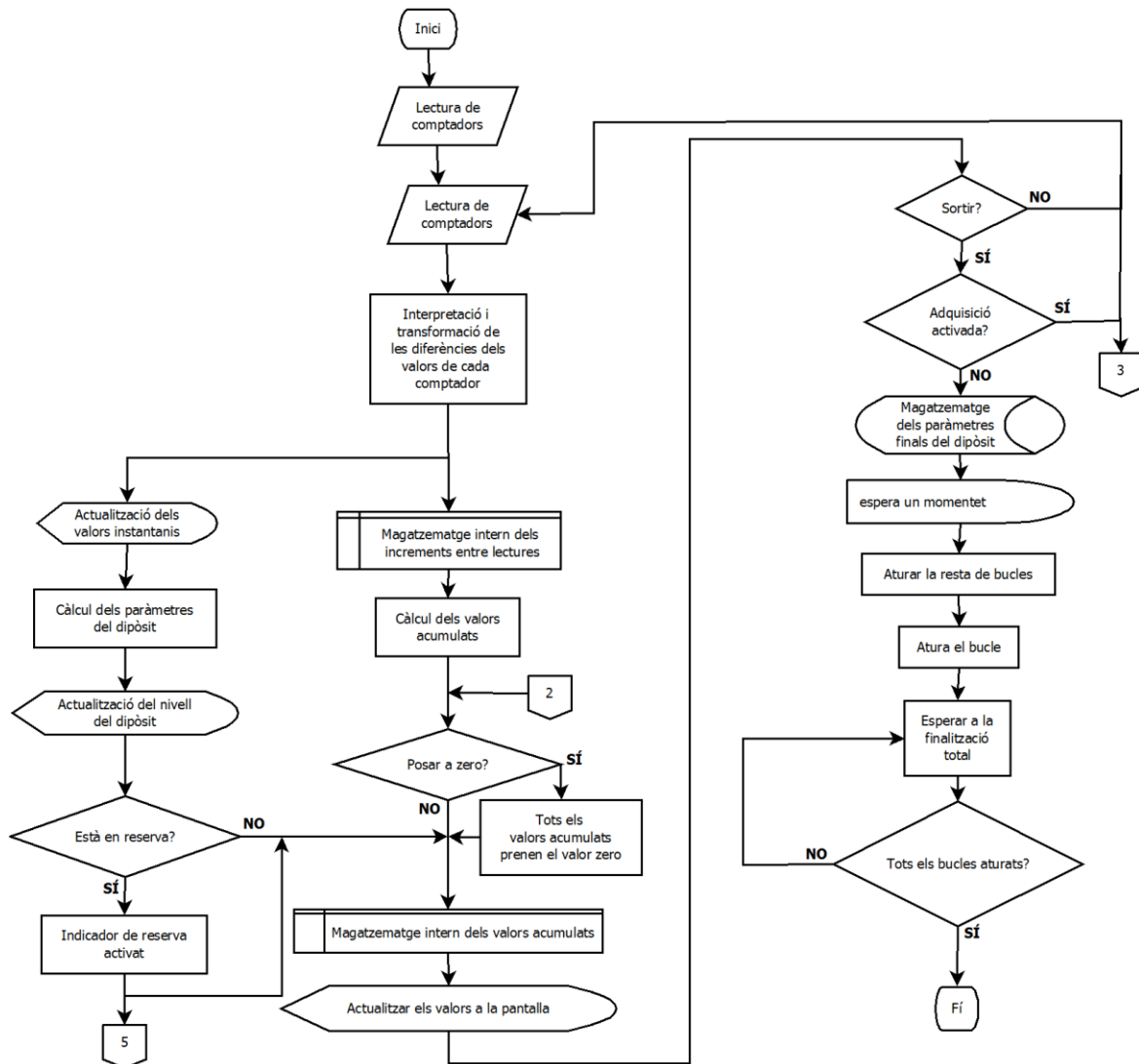


Figura 4.1: Diagrama de flux de la lectura de comptadors i transformació de les dades.

Inicialment, aquest bloc estableix el valor inicial dels sensors llegint dues vegades seguides el número de polsos dels sensors com s'ha descrit a l'apartat 4. A partir d'aquí el funcionament del Bloc és repetitiu i és el següent (Figura 4.1):

Primer de tot, aquest bloc ens avisa mitjançant una llum al panell frontal/Configuració, si el bloc s'ha retardat en l'anterior cicle. La subrutina *Sub Adq.Comptadors\_CeDeC* llegeix els comptadors i junt amb les subrutines *Sub velocitat*, *Sub càlculs consum\_CeDeC* i els paràmetres que caracteritzen les rodes del tractor (longitud o perímetre i polsos per volta), la presa de força (polsos per volta) i el cabalímetre (polsos per mil·lilitre) es calcula els valor de velocitat a les rodes i a la presa de força i el consum instantani de gasoil per part del motor. A la pestanya de *Configuració* és possible triar si volem que la velocitat real sigui la mesurada a les rodes o la donada pel receptor GPS. Després es calcula el lliscament i quan la velocitat teòrica és zero es substitueix el valor no numèric resultant per un zero (Equació 4.1).



A continuació la subrutina *Sub poc gasoil dipòsit\_simplificat*, compara si el contingut del dipòsit és inferior al volum de reserva desitjat, si és així dóna l'ordre per a que ens surti en pantalla un diàleg avisant-nos que anem en reserva. I ens informa mitjançant una llum intermitent que anem en reserva fins que el volum de reserva sigui inferior al contingut en el dipòsit. Ja sigui afegint gasoil com modificant el paràmetre de la reserva. També ens permet modificar el volum del dipòsit si hem afegit o tret combustible i el volum de reserva desitjat.

Tot seguit, es calculen els valors de distància, superfície, consum i temps acumulats, així com el consum horari, el consum per hectàrea i la velocitat mitjana. Tots aquest valors es poden reiniciar a zero sempre que es vulgui. Això afectarà al diàleg resum quan s'atura l'adquisició si l'adquisició està activada.

El programa llegeix el rellotge de l'ordinador i ens mostra la data i hora a la pestanya configuració.

Aquest és l'únic bloc que controla el tancament del programa. Quan l'usuari vol sortir de l'aplicació i pitja l'interruptor virtual "sortir" el programa inicia la seqüència de tancament automàtica si no s'està adquirint (veure apartat "Funcionament Adquisició de dades"). Si s'està adquirint, dóna l'ordre que es mostri el diàleg per a aturar primer l'adquisició (Figura A-30). Si no s'està adquirint, primer guarda els paràmetres del dipòsit de combustible a l'arxiu *dipositgasoil.txt* (Figura A-31), després ordena el tancament dels cinc bucles del programa (Figura A-32) i finalment surt del LabView® (Figura A-33). A la Figura A-30 es pot observar que quan es selecciona l'opció "sortir" ("stop" a la imatge) i l'adquisició està activada, s'activa la variable booleana "Parar adquisició primer" i es desactiva la variable "sortir". A la Figura A-31 es mostra una captura de pantalla del pas "0 de 2" de l'estructura seqüencial interior que serveix per a actualitzar els paràmetres del dipòsit de combustible substituint l'arxiu amb les dades antigues pel nou arxiu actualitzat. El pas "1 de 2" de la seqüència entre la Figura A-31 i la Figura A-32 fa que el programa esperi 500 ms abans de passar al pas "2 de 2" corresponent a la Figura A-32. En aquesta figura, s'observa una funció *Stop Timed Loop.vi* per a cada bloc del programa a excepció del principal. Aquest s'aturarà després d'executar les funcions *Stop Timed Loop.vi*. Aquesta funció és la equivalent al "Loop condition" quan està com "Stop if true" d'aparença a un senyal d'stop de trànsit com es mostra a la figura. La diferència és que la funció es pot executar remotament fora del "Timed Loop". Quan el bucle principal s'atura, "avisa" enviant un senyal "cert" a la funció *Exit* del Labview® que pot sortir del programa quan tots els bucles estiguin aturats i enviïn el senyal "cert" (Figura A-33).

A la Figura A-33 la funció *Sortir* del Labview® està fora de les cinc estructures *Timed Loop* corresponents als blocs del programa. Es pot observar com la funció "AND" de 5 entrades "espera" a rebre els senyals dels cinc bucles. Aquest senyal només arribarà quan l'estructura bucle corresponent s'aturi. Això dóna temps a finalitzar la feina de cada estructura abans de tancar el programa. Així el programa finalitza correctament i no es queda penjat ni cal tancar-lo a la força mitjançant l'*Administrador de tasques* de Windows com succeïa amb el programa de partida.

Per ordre ascendent la numeració de les entrades correspon:

- 1- al Bloc del programa,
- 2- a l'Adquisició de la posició GPS i la velocitat via GPS,
- 3- al mòdul de l'Ajut al guiatge,
- 4- a l'Adquisició de dades, i
- 5- als Diàlegs per no aturar el Programa principal (bloc del programa).

#### 4.2. Funcionament Adquisició de dades.

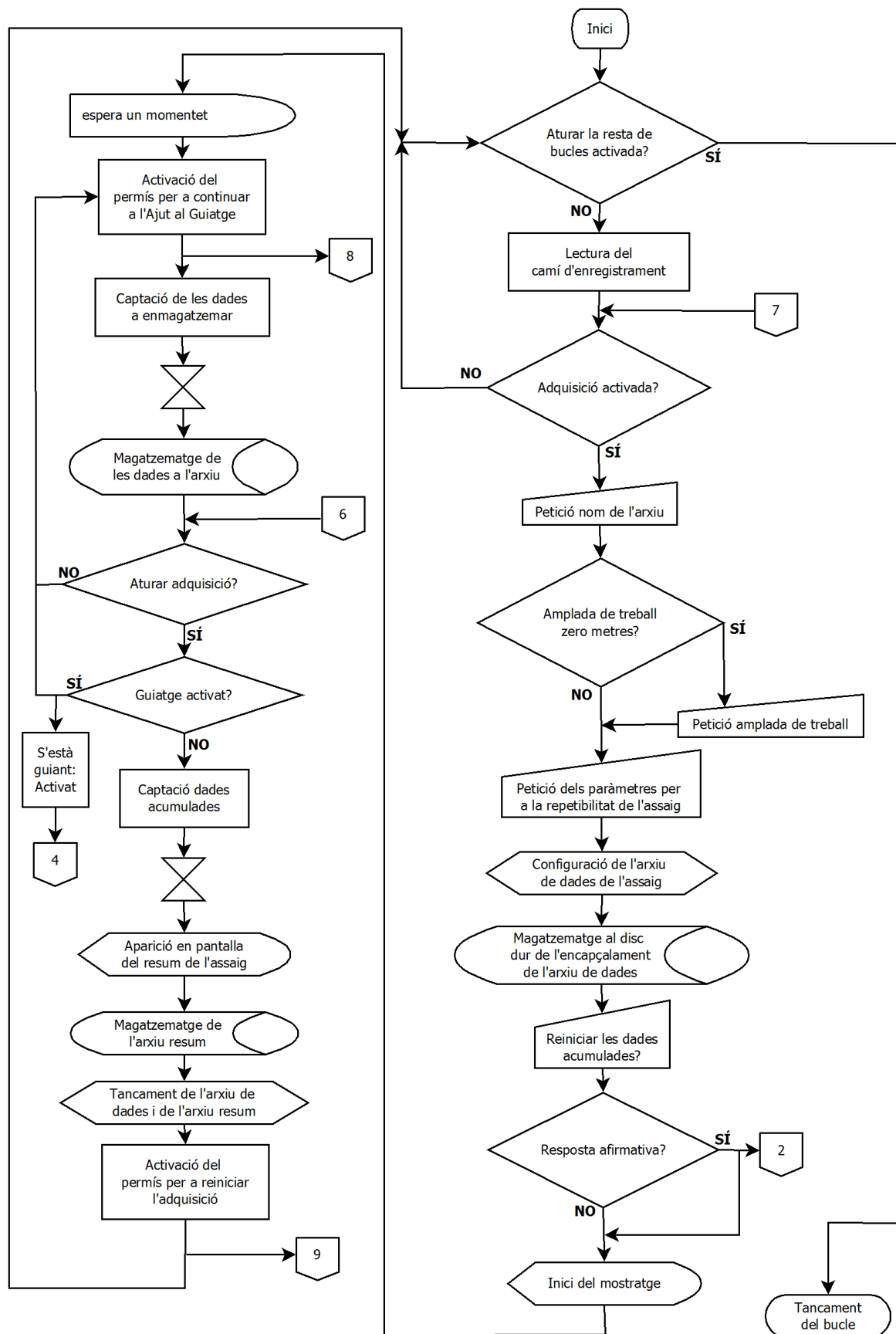


Figura 4.2: Diagrama de flux del bucle adquisició de dades.

Aquesta estructura és l'encarregada d'emmagatzemar les dades de cada assaig realitzat amb el programa (Figura 4.2). Inicialment, no guarda cap mena d'informació. Les variables adquisició tenen el valor fals i, per tant, l'estructura condicional posterior no fa res (Figura A-34). A la Figura A-34 es pot observar com es desactiva l'indicador lluminós de la Figura A-35 quan l'adquisició està desactivada.

Quan l'usuari prem algun dels botons d'adquisició situat en alguna de les pestanyes (Figura A-36), l'estructura condicional pren el valor cert. Aquesta, primer demana el nom de l'arxiu per a enregistrar les dades. Després comprova que s'ha introduït algun nom i comprova que no hi ha un arxiu anterior amb el mateix nom (Figura A-37 i Figura A-38). Si existeix, consulta si es vol sobreescure o bé canviar de nom. Si s'escull la sobre escriptura el programa elimina l'arxiu anterior. El teclat de la Figura A-37 apte per a l'ús en una pantalla tàtil apareix quan es selecciona un camp alfanumèric d'entrada de dades o quan és necessari que l'usuari entri dades alfanumèriques. Totes les estructures condicionals de la Figura A-38 estan en opció cert per a poder veure la programació. L'opció fals no fa res més que substituir la sortida del diàleg per l'entrada de l'estructura condicional.

Un cop definit el nom de l'arxiu on s'enregistraran les dades de la feina, es comprova que s'hagi entrat el valor de l'amplada de treball corresponent. Si no s'ha entrat, s'avis a l'usuari mitjançant un diàleg i es carrega el teclat numèric de la Figura A-15. Ara el programa crea l'arxiu i l'encapçalament del contingut de l'arxiu. I pregunta informació referent a la repetibilitat de l'assaig com la velocitat del motor, la velocitat del tractor, la velocitat de la presa de força, el grup reductor de la transmissió, la marxa del tractor i notes i observacions referents a l'assaig (Figura A-39 i Figura 4.3). Si en el diàleg "Les dades són correctes?" de la Figura A-39 s'observa que les dades entrades són errònies, es pot tornar a començar premen el botó "No!" del diàleg. Si pel contrari estan bé, es prem "Sí!" per a continuar.

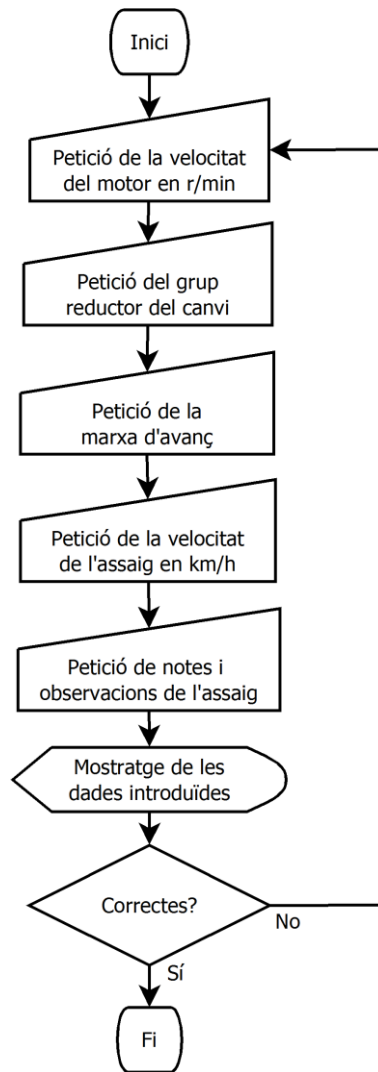


Figura 4.3: Diagrama de flux de la petició d'entrada de les dades de repetibilitat de l'assaig.

Un cop tenim l'arxiu definit i configurat, el programa inicia la seqüència d'enregistrament (Figura 4.4). Primer de tot demana si es vol o no reiniciar les dades acumulades (Figura A-40). Si s'escull la negativa, demana la confirmació (Figura A-41). Després, mostra un diàleg on s'avisava que s'inicia el mostratge de l'assaig (Figura A-42 o Figura A-43). Llavors permet el mode "adquisició" de les gràfiques i comença a enregistrar les dades (veure Figura A-44).

El diàleg de la Figura A-40 permet fer net o no dels valors anteriors a l'activació de l'adquisició. Si en el diàleg de la Figura A-41, es selecciona "Endavant!" apareix el diàleg de la Figura A-42. En cas contrari es mostra la Figura A-40. El diàleg de la Figura A-42 apareix quan no es reinicien els valors acumulats previs a l'adquisició activada mentre el diàleg de la Figura A-43 apareix quan s'inicia l'adquisició amb els valors acumulats a zero.

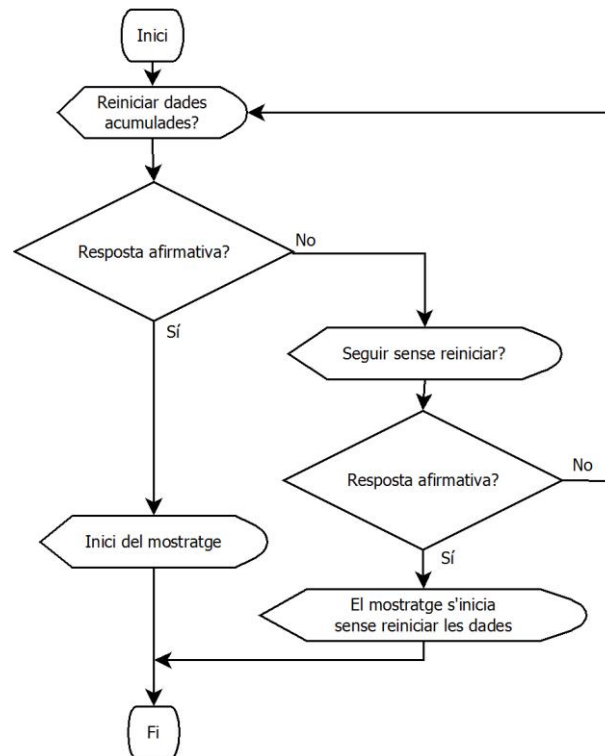


Figura 4.4: Diagrama de flux de la seqüència d'enregistrament.

La Figura A-44 mostra una captura de pantalla del diagrama de blocs referent al codi corresponent a la programació de la reiteració d'enregistrament de dades quan l'adquisició està activada. Aquesta reiteració del programa enregistra 14 variables per tal de poder analitzar-les posteriorment en gabinet, amb la freqüència seleccionada per l'usuari a l'inici del programa. Aquestes variables són:

- posició GPS (X,Y),
- posició GPS ideal (X,Y),
- velocitat d'avanç real i teòrica,
- lliscament,
- consum de combustible instantani,
- velocitat en r/min de la presa de força,
- distància recorreguda acumulada,
- superfície treballada acumulada,
- consum de combustible acumulat,
- consum de combustible per hora,
- consum de combustible per ha.

A la Figura A-44 es poden observar les dues estructures condicionals que hi ha al centre dret de la imatge. El seu funcionament assegura que no es deixa l'opció "adquisició" mentre està activada la funció d'ajut al guiatge. Si es prem qualsevol dels botons d'adquisició quan tenen el valor cert i la funció d'ajut al guiatge està activa, es dona l'ordre d'obrir el diàleg que ens obliga a aturar l'ajut al guiatge si es vol aturar l'adquisició (Figura A-45). Si es prem qualsevol dels botons d'adquisició quan tenen el valor cert i la funció d'ajut al guiatge està desactivada, els pulsadors d'adquisició prenen el valor fals, s'atura el bucle d'enregistrament de dades (Figura A-46) i el mode d'intermitència de l'indicador lluminós "ADQUIRINT" (Figura A-47) es desactiva. Quan es permeti reiniciar l'adquisició, el bloc *Adquisició de dades* tornarà a l'estat fals (Figura A-34). A la Figura A-45 es pot observar que es dona l'ordre d'obrir el

diàleg “S’està Guiant” i per tant no es pot aturar l’adquisició de dades i com es manté el valor cert a l’opció adquisició de dades.

A continuació, es crea un resum de les dades obtingudes durant l’assaig (Figura A-48), es mostra en pantalla (Figura A-50) i s’emmagatzema (Figura A-49). El nom de l’arxiu és el mateix del registre de les dades afegint-hi “\_resumdades\_.txt” al final del nom. Tot seguit es tanquen els dos arxius (el de les dades i el del resum) i es permet reiniciar l’adquisició (Figura A-49). Ara si el bloc *Ajut al Guiatge* està esperant aquest pas pot continuar (per a més informació veure a l’apartat 5.1.2.b, “Funcionament del Mòdul de l’ajut al guiatge”).

A la Figura A-48 s’observen les 9 variables que es mostraran al resum:

- el temps d’adquisició (s),
- la distància recorreguda (m),
- el consum acumulat (l),
- la superfície treballada (ha),
- el consum horari (l/h),
- el consum unitari (l/ha),
- la velocitat mitjana d’avanç (km/h),
- la velocitat mitjana de la PdF (r/min),
- l’amplada de treball (m).

A la Figura A-49 es mostra una captura de pantalla corresponent a l’última seqüència del bucle Adquisició. Aquesta primer agafa el nom de l’arxiu i li afegeix “\_resumdades\_.txt”, després el crea i hi guarda les dades resumides. A continuació, tanca els dos arxius (el de les dades i el del resum) i permet reiniciar l’adquisició al bucle *Ajut al Guiatge*. El diàleg de la Figura A-50 mostra les dades resumides i un cop es desitja continuar es prem el botó “D’ACORD” i el programa continua.

Quan l’usuari decideix el tancament del programa, el bucle *Bloc del Programa* inicia l’aturada de tots els bucles si es compleixen les condicions ja esmentades a l’apartat 4, “Funcionament del Bloc principal del programa”. Llavors, quan el bucle *Adquisició de dades* s’atura per ordre del bucle *Bloc del programa*, “avisa” enviant un senyal “cert” a la funció *Exit* del Labview® que s’ha aturat i pot sortir del programa quan tots els bucles estiguin aturats (Figura A-51 i Figura A-33). A la Figura A-51 es pot observar com la funció *Stop if true*, d’aparença similar a un senyal d’stop de trànsit, no està connectada a res. Es pot pensar que aquest bucle no s’aturarà mai per si sol. Però la funció de tancament del bucle del *bloc del programa* ja fa aquesta funció. Quan el bucle *Adquisició de dades* s’atura el valor cert de la constant es transmet a la funció “AND” prèvia a la funció *Exit* (Figura A-33).

#### 4.3. Funcionament de l'Adquisició de la posició GPS i la velocitat via GPS.

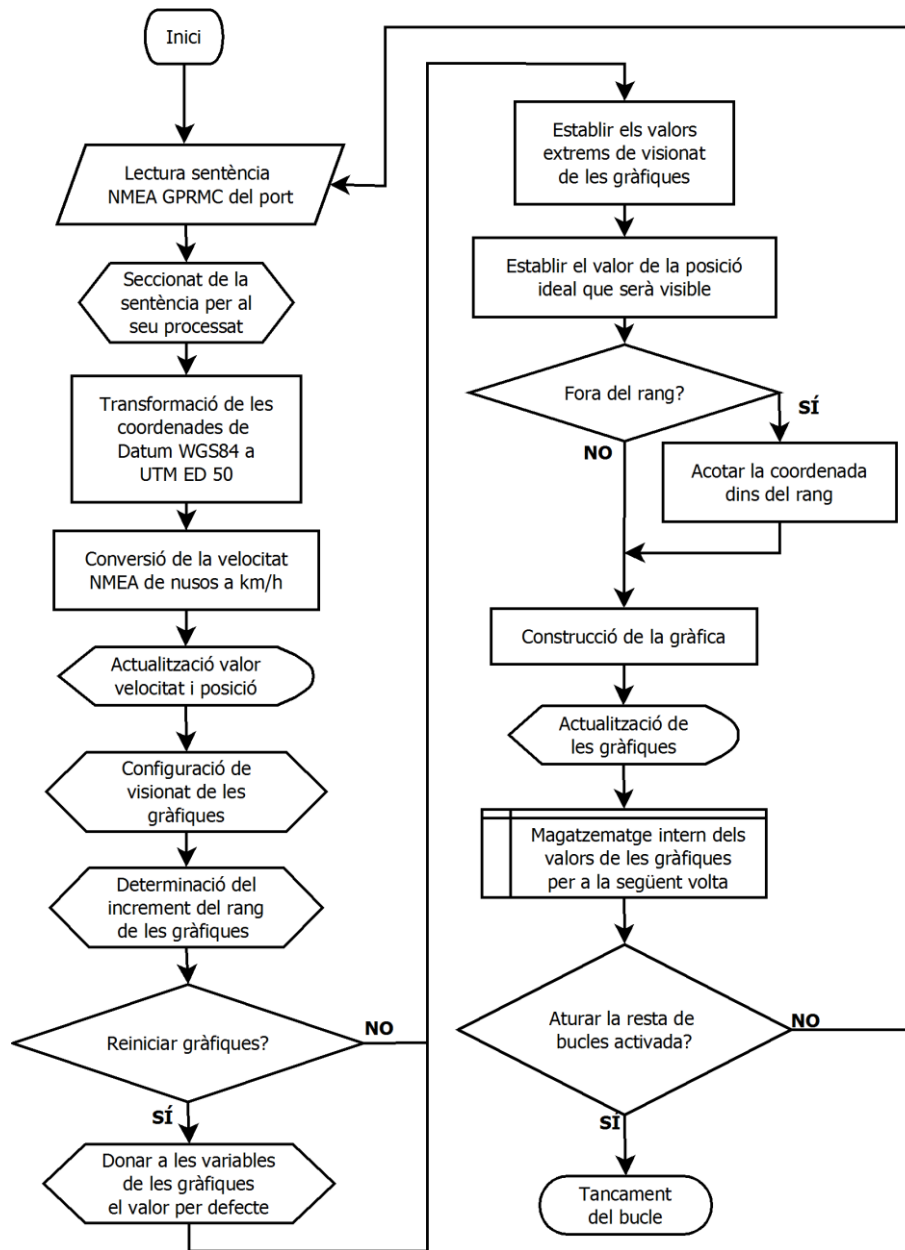


Figura 4.5: Diagrama de flux de l'adquisició i processat de la sentència NMEA GPRMC.

El bucle de la Figura 4.5 és l'encarregat d'adquirir les sentències NMEA procedents del GPS, interpretar-les, transformar-les del geode WGS84 a UTM ED50 i de construir les gràfiques del programa (Figura A-52).

Gràcies a la feina realitzada per a la caracterització del GPS, el programa pot processar actualment 5 sentències (\$GPRMC, \$GPGGA, \$GPGSA, \$GPGSV i \$GPVTG) que són les utilitzades durant la caracterització del receptor. Però per no sobrecarregar la maquinària amb informació innecessària, actualment està configurat per a processar únicament la sentència \$GPRMC (Figura A-54). Aquesta sentència aporta les coordenades de la posició (Datum WGS84), la data i hora satel·litària, la velocitat en

nusos i la direcció i el sentit del moviment en graus sexagesimals (Figura A-55). La velocitat és transformada de nusos a km/h.

A la Figura A-54 es mostra la subrutina encarregada de llegir la totalitat d'una sentència NMEA. Aquesta subrutina serveix per a extreure una sentència del paquet d'informació que entra pel port sèrie RS-232 on està connectat el receptor GPS. La frase que interessa comença pel nom de la sentència desitjada (\$GPRMC) i finalitza en un retorn de carro. Quan el subprograma detecta l'inici de la sentència contenidora i el retorn de carro final, el bucle s'atura.

A la Figura A-55 es mostra la sentència NMEA \$GPRMC. Aquesta, conté la informació mínima recomanada per a l'ús dels SSNG (Baddeley 2009): l'hora satel·litària, la validesa de la sentència, latitud i longitud, velocitat en nusos, variació en graus de la trajectòria, data satel·litària, angle magnètic i la correcció realitzada en la posició. Sense correcció (A), correcció diferencial (D), posició estimada (E o S) i posició no vàlida (N).

Es va afegir una funció del LabView per a eliminar la informació residual del port un cop extreta la sentència. Aquesta mesura de prevenció té com a finalitat evitar un retard en el sistema de posicionament per possible acumulació de sentències antigues a la memòria intermèdia d'entrada del port. Això pot succeir quan el programa o el mòdul GPS pateix algun tipus de retard. Aquest retard no és compartit amb el GPS que continua bolcant informació al port on s'acumula (Figura A-52). A la part superior esquerra de la Figura A-52, es pot observar la funció d'esborrat de la memòria intermèdia del port i les subrutines de lectura i de transformació de la sentència NMEA. Al centre, es pot observar la configuració dels traços de les gràfiques quan l'adquisició està desactivada (quan està activada veure Figura A-53). I a la part dreta, es pot observar la configuració per a l'increment del rang del gràfic, els diferents sistemes de reinici dels gràfics i les dues subrutines encarregades de configurar els dos traços i de dibuixar la gràfica. Val a dir que es dibuixa una gràfica i es representa dues vegades en diferents pestanyes. Una gràfica en la pestanya *GPS* i l'altra en la *Càlculs acumulats*.

Les gràfiques disposen de dos modes o configuracions. El primer, quan l'adquisició està desactivada i, el segon, quan està activada. La diferència recau en la utilitat de la informació gràfica que rep l'usuari. Quan no s'està adquirint, es suposa que s'està traslladant el tractor d'una zona de treball a una altra o de la zona de repòs a la zona de treball i a l'inrevés. Per tant, no és de gran interès saber quin ha estat el recorregut. És per això que el gràfic mostra els punts de les coordenades individualment i de color taronja. A la Figura A-52 es mostra una rutina amb la configuració del gràfic. Quan s'està adquirint, saber quin és el recorregut seguit ens aporta informació del sentit de les passades, de si hi ha hagut algun salt en la posició, de possibles sots o desviaments de la trajectòria, etc. És per això que el gràfic mostra els punts de les coordenades units amb una recta vermella tot seguint l'ordre cronològic d'adquisició. A la Figura A-53 es mostra una rutina amb la configuració del gràfic. En aquest cas, el programa pot estar en mode "Ajut al Guiatge". És per això que també es representen els punts de les coordenades de la trajectòria ideal. Però de manera individual i de color verd amb la finalitat de servir com a referència.

Per evitar que les gràfiques quedin inutilitzades per pèrdua del factor escala, no es representen les coordenades dels punts quan prenen valors de (0,0) o erronis per les constants implicades en els càlculs en front als valors que prenen les coordenades de l'ordre de 4 i 5 xifres. Això succeeix quan s'usa el guiatge manual i per tant l'ajut al guiatge roman desactivat. Per tal d'evitar-ho, quan l'ajut al guiatge està desactivat o en procés d'activació, és a dir, s'estan adquirint les coordenades de les trajectòries ideals (Trajectòria ideal: línia que es vol que descrigui el tractor en l'espai), entrant els valors via arxiu o manualment o, simplement, s'està carregant i configurant l'aplicació, el valor de les coordenades ideals és l'origen (Posició o punt ideal: és la posició que hauria d'assolir el tractor per a seguir la trajectòria ideal). Per tant, el programa interpreta que el valor que li arriba no és correcte i el substitueix pel valor del senyal GPS. També es pot escollir quina és la influència que tindrà el punt ideal sobre els límits de la gràfica. Quan un punt ideal supera el rang de visió de la gràfica i provoca una modificació excessiva de



l'escala, la utilitat de la gràfica es pot veure afectada al diferir significativament l'ordre de magnitud entre els valors de les coordenades representades i el valor atípic o erroni del punt ideal. L'aparició d'un punt llunyà a la gràfica provoca l'augment de l'àrea representada i, per tant una disminució en la mida del representat. Per aquest motiu, l'usuari pot determinar quin serà l'increment màxim del rang de visió que pot provocar aquest punt ideal amb el control "Inc. Max rang gràfica" ("Max out of rang" a la Figura A-56). A la Figura A-56 s'observa que quan l'ajut al guiatge no està en funcionament el valor de les coordenades ideals s'igualen al valor del GPS. La subrutina *Sub inst auto max\_min\_reset.vi* de color groc s'encarrega de modificar els rangs de les gràfiques si és necessari i de centrar la visió quan es reinicien. La subrutina que resta a sota d'ambdues de color groc, és l'encarregada d'igualar el punt ideal a la coordenada obtinguda pel GPS quan el valor d'entrada de l'ideal és zero. La zona dreta de la subrutina de la Figura A-56 compleix la funció d'evitar que la representació del nou punt ideal marxi fora dels límits màxims fixats per l'usuari. Per defecte, el valor és de 25 metres més o menys les coordenades màximes i mínimes representades. Aquest límit màxim és el superior entre aquest últim i el doble de la distància entre els punts ideals. Així s'assegura la fidelitat de la gràfica si l'usuari introdueix un valor inferior al doble de la distància entre els punts ideals sobre la recta durant el guiatge.

#### 4.4. Funcionament del bucle *Diàlegs per a no aturar el Programa principal.*

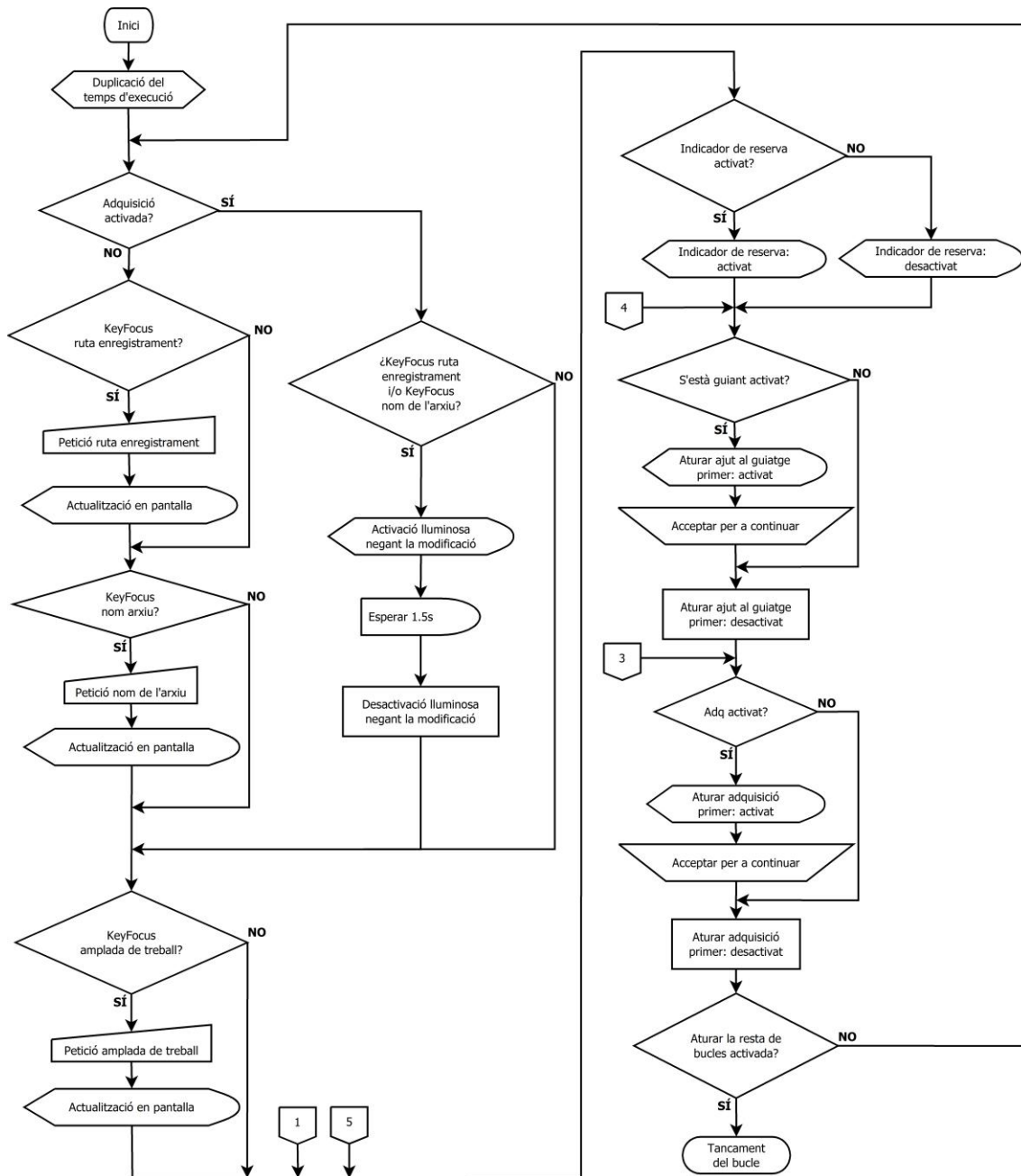


Figura 4.6: Diagrama de flux del bucle *Diàlegs per a no aturar el Programa principal*.

La funció del bucle de la Figura 4.6 és contenir tots aquells diàlegs informatius, d'opcions o d'entrada de dades que donen lloc a interrupció del funcionament normal del programa, Figura A-57. Es pot observar a dalt a l'esquerra de la Figura A-57, que el temps d'execució del bucle es el doble de l'establert. Això està configurat així per a deixar el màxim de recursos a la resta perquè aquest és de funcionament secundari. La variable "KeyFocus" ens indica quan es selecciona un text, un número, etc. Per tant si aquest es seleccionat la variable "KeyFocus" pren el valor "cert", en cas contrari pren el valor "fals". Val a dir que aquest bucle està creat per a no aturar el del *Bloc del programa*. Aquest i el d'*Adquisició de la posició GPS i la velocitat via GPS*, són els únics amb un funcionament no ramificat amb opcions. Això vol dir que sempre fan el mateix i no s'aturen mentre s'executa el programa.

Si es col·loquen els diàlegs o les opcions d'entrada de dades que requereixen l'execució d'una subrutina paral·lela a dins del bucle del *programa principal*, aquest espera a que acabi la subrutina. Això dona lloc a errors en la interpretació de les dades dels sensors. Donat que els impulsos d'aquests es segueixen sumant a la placa d'adquisició mentre el bucle del *programa principal* està aturat. Quan es tornen a llegir s'obtenen pics dels valors que no són reals. La resta de bucles executen diferents tipus d'ordres en funció de les tasques que executa l'usuari. Per tant el seu funcionament està condicionat a l'usuari. Aquest precisa cert temps per a introduir dades, opcions, variables, llegir missatges d'error, etc. el que provoca que el bucle estigui aturat esperant que acabi. Per tant, si la subrutina atura el bucle no passa res. Perquè mentre es requereix la intervenció de l'usuari el bucle no pot treballar.

El bucle conté 3 diàlegs informatius i tres que permeten introduir o modificar paràmetres d'entrada.

Els diàlegs informen de la manca de combustible (Figura A-58), la necessitat d'aturar l'adquisició (Figura A-59) i la necessitat d'aturar l'ajut al guiatge (Figura A-60). Els tres diàlegs restants permeten l'entrada o modificació de la ruta d'enregistrament dels arxius d'adquisició de dades (Figura A-61), el nom de l'arxiu (Figura A-62) i l'amplada de treball (Figura A-63).

El diàleg de la Figura A-58 apareix quan el nivell del dipòsit de gas-oil està per sota del nivell de reserva establert.

El diàleg de la Figura A-59 apareix quan es vol sortir del programa i l'adquisició està activada.

El diàleg de la Figura A-60 apareix quan es vol desactivar l'adquisició i el mòdul de l'ajut al guiatge està en funcionament.

A la Figura A-61 es mostra una captura de pantalla del diagrama de blocs on apareix l'estructura condicional *Canvi del camí de l'arxiu on gravarem les dades* on es veu la subrutina del teclat QWERTY (Figura A-37) amb el que es pot entrar text. Per tant, es permet entrar o modificar la ruta d'enregistrament de les dades de l'assaig. A la Figura A-62 es mostra una captura de pantalla del diagrama de blocs on apareix l'estructura condicional *Canvi del nom de l'arxiu on gravarem les dades* on es veu la subrutina del teclat QWERTY (Figura A-37) amb el que es pot entrar text. Per tant, es permet entrar o modificar el nom de l'arxiu on s'enregistraran les dades de l'assaig. A la Figura A-57 es mostra la condició "true" de l'estructura condicional *Canvi de l'enregistrament només si no adquirim*. La condició "true" no permet la modificació de la ruta d'enregistrament ni del nom de l'arxiu perquè l'adquisició està activada.

A la Figura A-63 es mostra una captura de pantalla del diagrama de blocs encarregat de l'entrada o modificació de l'amplada de treball. Quan l'amplada de treball és zero, l'estructura condicional interior rep el valor cert i no es mostra cap número en el teclat numèric (Figura A-15). En cas contrari, com es mostra a la Figura A-63, el teclat numèric mostra el valor de l'amplada de treball el qual es pot modificar si és erroni. Si fos necessari, es permet modificar l'amplada de treball durant el guiatge perquè es pot donar el cas que en una mateixa feina es realitzin diferents amplades. Per exemple en aplicacions

fitosanitàries o d'adob en les vores del camp. Val a dir que actualment el programa no està preparat per a assumir diferents amplades de treball per a un correcte guiatge. Només n'accepta una i si es modifica l'amplada modificarà l'amplada de totes les passades, realitzades o no.

El diàleg de la Figura A-64 apareix quan es selecciona el camp alfanumèric de la ruta d'enregistrament o del nom de l'arxiu quan s'està adquirint. Perquè quan es selecciona qualsevol de les dues entrades de text, s'interpreta que es vol modificar el contingut i mentre l'adquisició està activada l'arxiu està en ús i no es pot modificar. Per tant, es visualitza durant un segon i mig el text de la Figura A-64 per a informar a l'usuari que no es permet modificar la ruta d'enregistrament ni el nom de l'arxiu mentre s'està adquirint.

Ajut al guiatge



## 5. Ajut al guiatge

### 5.1. Materials i mètodes

#### 5.1.1. Caracterització del receptor GPS

Els materials necessaris per a realitzar aquest apartat han estat:

- ☞ Antena i receptor GPS Trimble® AgGPS® 332 propietat de l'ETSEA
- ☞ Cable i allargador d'antena receptor-antena, en total 10 metres
- ☞ Receptor GPS portàtil Garmin eTrex Legend®
- ☞ PC PIV 3GHz amb SO Windows 2000 i port RS232 de 9 pins
- ☞ PC PII 433 MHz amb SO Windows 98 i port RS232 de 9 pins i connexió a Internet
- ☞ Dos connectors receptor GPS-PC, un per comunicar el receptor amb l'ordinador (PC PIV) i l'altre per entrar les correccions DGPS externes no satel·litàries (PC PII)
- ☞ Llicència de 3 mesos pel senyal Omnistar HP
- ☞ Cronòmetre
- ☞ Cinta mètrica metàl·lica de 5 metres
- ☞ Bolígraf
- ☞ Càmera fotogràfica digital de 4 Mp Olympus µ[mju:] 400 DIGITAL
- ☞ Calculadora científica HP RPN SCIENTIFIC 32S II
- ☞ Programes informàtics: National Instruments LabView 7.1®, Microsoft Excel 2003®, Microsoft Word 2003®, Mozilla Firefox 2.0®, Internet Radio Windows Ntrip GNSS (IRW), RTCM-Decoder v 1.0, Compe GPS 6.0, Geographic translator 2.4.1, HyperTerminal de Windows®, calculadora científica de Windows XP® i Microsoft® Paint v5.1.

##### 5.1.1.a. Descripció del receptor

El receptor amb el que es va treballar és de la marca Trimble® dissenyat per al posicionament via GPS en l'agricultura. L'equip GPS AgGPS 332, propietat de la Universitat de Lleida, estava disponible per a la recerca al Departament d'Enginyeria Agroforestal del campus ETSEA de la Universitat de Lleida.

L'equip consta d'una antena receptora de senyal GPS per a la recepció de dotze canals i dues freqüències de senyal, L1 i L2. L'ancoratge està imantat i és ideal per a instal·lar al sostre metàl·lic del vehicle.

L'aparell receptor disposa d'un monitor LCD d'1,5 x 7 cm (Figura A-16) i un sistema de cablatge genèric que permet adaptar-se a qualsevol aparell que disposi d'un connector RS-232 (Figura A-17) i a qualsevol tractor o màquina del mercat que disposi d'una presa de 12V de corrent continu. A la Figura A-16 es pot observar el display al centre del frontal i a sota les tecles per a la configuració. D'esquerra a dreta es troba la tecla enter, la tecla amunt, la tecla avall i la tecla endavant. La tecla endavant serveix per a anar cap la dreta del mapa de configuració de l'aparell (Figura A-19), les tecles amunt i avall per a desplaçar-se amunt i avall respectivament i la tecla enter per a accedir a modificar la configuració de l'element en pantalla. Un cop dins, amb les tecles amunt i avall es canvia la configuració i amb la tecla enter es confirma i es desselecciona l'element per a poder seguir.

El receptor disposa de tres connectors físics: una connexió d'antena i dues per als ports de comunicacions (Figura A-18). Tanmateix, hi ha tres configuracions de port possibles: A, B i C. Els ports B i

C comparteixen port físic i són, per tant, excloents. Quan s'activa el port B des del panell frontal es desactiva el port C, i a l'inversa. Sembla ser que és per a poder tenir dues configuracions diferents del port B intercanviables ràpidament. El receptor està dissenyat per a ser ancorat mitjançant cargols i és millor instal·lar-lo a l'interior de l'habitacle per a poder reconfigurar-lo en cas que sigui necessari. Però segons el manual està preparat per a estar a la intempèrie.

S'ha comprovat que també es poden utilitzar les correccions diferencials proporcionades per CATNET amb el programa IRW via Internet introduïdes a l'aparell pel segon port. Aquest servei es gratuït, però cal una connexió a Internet i valorar el cost de funcionament.

#### 5.1.1.b. Descripció i característiques dels sistemes de correcció de coordenades

Els sistemes de correcció de coordenades es coneixen amb el nom de DGPS ("Differential GPS" o GPS diferencial). El DGPS és un sistema que proporciona als receptors dels diferents SSNG correccions de les dades rebudes pels satèl·lits de posicionament global, amb la finalitat de proporcionar una major precisió de la posició calculada. Inicialment es va idear la correcció diferencial per a contrarestar la disponibilitat selectiva introduïda pel Departament de Defensa dels EUA (eliminada l'any 2000). L'error produït per la disponibilitat selectiva variava més ràpidament que la velocitat de transmissió de les dades. Per això, s'afegeix el temps de validesa de la correcció i de la tendència que aquesta segueix dins del missatge de correccions enviat. Per tant, el receptor farà algun tipus d'interpolació per a corregir els errors produïts.

La correcció es basa en el fet que els errors produïts pels SSNG afecten per igual o de manera molt semblant als receptors pròxims dins d'un mateixa zona. Llavors, un receptor fix a terra (posició de referència) que coneix exactament la seva posició utilitzant altres tècniques de georeferenciació, rep la posició donada pel SSNG i comparant-la amb la seva posició coneguda, calcula els errors produïts pel SSNG. Aquest receptor transmet la correcció dels errors als receptors pròxims a ell. Així, aquests també poden corregir els errors produïts pel sistema dins de l'àrea de cobertura. Les correccions diferencials són vàlides quan el receptor està aproximadament a menys de 200 km de distància d'una estació diferencial (Gilbert. 2003). Les formes més emprades per a rebre les correccions diferencials són mitjançant la radio (canal Radio Data System o una emissora de Freqüència Modulada), mitjançant descàrregues d'Internet amb o sense una connexió inalàmbrica o mitjançant la utilització d'algun sistema de satèl·lits dissenyats a tal efecte com el WAAS (Estats Units d'Amèrica), EGNOS (Europa) i MSAS (Japó) compatibles entre ells. Amb la correcció diferencial es poden corregir errors produïts per la disponibilitat selectiva (avui dia ja no existeix), la propagació per la ionosfera i troposfera, errors efemèrides en la posició del satèl·lit i errors produïts per problemes en el rellotge del satèl·lit.

En els missatges enviats als receptors pròxims es poden incloure dos tipus de correccions. Una correcció directament aplicada a la posició o una correcció aplicada a les pseudodistàncies de cadascun dels satèl·lits visibles. En la primera correcció, tant l'estació de referència com l'usuari han d'utilitzar els mateixos satèl·lits perquè la correcció es basa en la posició calculada a partir d'aquests satèl·lits. En la segona correcció l'usuari podrà corregir la seva posició amb els quatre satèl·lits amb la millor relació senyal/soroll (S/N). Aquesta correcció és molt més flexible.

Per a realitzar correccions diferencials cal, com a mínim, una estació fixa de referència (Figura A-20) i un equip per a l'usuari. L'estació fixa es compon per un receptor del SSNG, un microprocessador per a calcular els errors en el SSNG i per a generar el missatge a enviar als receptors pròxims i un transmissor unidireccional per a transmetre el missatge de correcció als usuaris finals. L'equip d'usuari es compon per un receptor DGPS que és capaç de rebre el senyal del SSNG procedent dels satèl·lits i les dades de correcció procedents de l'estació fixa o bé algun tipus de receptor que ho faci per ell.

L'EGNOS és la correcció diferencial que proporciona la Unió Europea, oferint una precisió que va de 50 cm al metre. És una correcció satel·litària.

La Radio Beacon és la correcció diferencial marítima que proporciona la "United States Coast Guard Navigation Center" del "U.S. Department of Homeland Security", oferint una precisió dels 10 cm als 30 cm a partir de 15 minuts. En el nostre cas la prenem com l'opció sense cap correcció directa, només amb l'Internet Ràdio Windows (IRW).

L'OMNISTAR és un senyal que ofereix l'empresa Omnistar Inc. del grup FUGRO® d'actuació global, previ pagament d'una quota de contractació de 3 mesos, prorrogable mes a mes o anual si es per a l'agricultura o anual per a altres usos (el preu varia). La precisió de la correcció va des dels 10 cm, 20 cm i fins als 78 cm en funció de l'opció contractada (HP, XP i VBS, respectivament). Segons el manual del receptor, el temps d'establiment de la correcció pot variar en funció de l'entorn del receptor. Com a referència ens indica que la precisió inferior al metre s'assoleix abans dels 30 segons i la precisió màxima en un temps inferior als 30 minuts. És una correcció satel·litària.

L'RTK és el màxim nivell de precisió que es pot assolir amb l'aparell AgGPS 332, ofereix una precisió horitzontal d'aproximadament 2,5 cm i una precisió vertical d'aproximadament 3,7 cm. A diferència dels altres senyals disponibles, en aquest cas la correcció no es difon via satèl·lit, sinó que s'emet des de la pròpia parcel·la amb l'ajuda d'una segona estació receptora fixa anomenada base, prèviament posicionada i localitzada, que corregeix els errors i transmet sense fils aquestes correccions al receptor mòbil, limitant l'àrea d'abast a la potència de la radio de l'estació base, a les característiques topogràfiques de la zona, a obstacles arquitectònics o vegetals, i a l'antena del receptor (via GSM o GPRS depèn de la cobertura). Lògicament el cost econòmic d'aquest senyal de correcció recau en l'adquisició dels aparells i, donat el cas, en la tarifa GSM o GPRS, però no en la contractació del servei.

El Sistema Global per a les Comunicacions Mòbils (GSM, prové de "Groupe Special Mobile") és un sistema estàndard per a la comunicació entre telèfons mòbils que incorporen tecnologia digital. Amb un telèfon que disposi de la tecnologia GSM es pot escriure, enviar i rebre correus electrònics, faxes, navegar per Internet, accedir de manera segura a la xarxa informàtica d'una companyia (LAN/Intranet) i utilitzar altres funcions digitals de transmissió de dades, incloent el Servei de Missatges Curts (SMS).

El servei general de paquets via radio o General Packet Radio Service (GPRS) és una extensió del sistema global per a les comunicacions mòbils per a la transmissió de dades no commutades (o per paquets). La tecnologia GPRS és un servei per a la comunicació de paquets de dades optimitzat per a ser utilitzat amb radio enllaços amb una velocitat de transferència de 56 a 144 kbps. La tecnologia GPRS permet utilitzar serveis com el Wireless Application Protocol (WAP), el servei de missatges curts (SMS), el servei de missatges multimèdia (MMS) i Internet. La transferència de dades GPRS es cobra per volum d'informació transmesa, mentre que la comunicació de dades utilitzant altres sistemes es factura per minut de temps de connexió, independentment de si l'usuari utilitza tota la capacitat de la connexió o roman inactiu. Per aquest motiu, es considera més adequada la connexió commutada per a serveis de veu que requereixen una amplada de banda constant durant la transmissió, mentre que els serveis de paquets GPRS s'utilitzen per al tràfic de dades.



### 5.1.1.c. Descripció de la prova de precisió

Abans de decidir quin tipus de correcció de les coordenades s'utilitzaria en la validació del programa desenvolupat, es va decidir que es realitzaria una prova de precisió dels diferents sistemes de correcció de coordenades disponibles. Els diferents sistemes de correcció amb els que es va treballar foren els cinc següents:

- Sense correcció DGPS (Sense Correcció/SC),
- Correcció DGPS EGNOS (Correcció Egnos/CE),
- Correcció DGPS a partir del senyal de correcció de l'estació de Lleida de la xarxa CATNET de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) a través del programa "Internet Radio Windows Ntrip GNSS" (IRW) via Internet (ubicada al terrat de l'edifici 4 de la UdL [Figura A-23]) (Correcció Agrònoms/CA),
- Correcció DGPS d'una estació virtual generada a partir de la xarxa CATNET de l'ICC a través de IRW via Internet (es crea cada vegada la més adient per a la zona on estem) (Correcció Virtual/CV), i
- Correcció DGPS OMNISTAR HP (Correcció Omnistar/CO).

Es prescindeix de la tecnologia RTK al diferir la seva tipologia de funcionament de les altres dues (via satèl·lit i via Internet), no disposar del material necessari per a utilitzar-la (estació base, codis d'activació del receptor GPS,...), i per l'elevat cost que suposa l'adquisició de l'aparell. Aquest últim, allunya l'RTK de la filosofia "low cost" desitjada.

Després de la lectura del manual de l'aparell per a conèixer el funcionament, els requeriments d'ús i les seves prestacions, i d'unes sessions de familiarització amb el mateix, es va buscar la logística necessària per al desenvolupament de les proves.

L'aparell ve de fàbrica habilitat per a rebre la correcció DGPS gratuïta WASS(Americà)/EGNOS(Europeu) o Beacon (Marítim Mundial) sense correcció diferencial fora del mar (DGPS amb el IRW). Per tal de rebre el senyal Omnistar s'ha de contractar, activar l'aparell i introduir-hi el codi d'activació proporcionat per l'empresa propietària del senyal.

En el nostre cas, es va contactar amb l'empresa Omnistar Inc. del grup Fugro i que proporcionà un període gratuït de senyal amb una durada de tres mesos per tal de poder realitzar les proves amb la correcció Omnistar HP i les instruccions per a l'activació de l'aparell. Un cop completada la configuració es pot comprovar a través d'una consulta al monitor la conformitat d'aquesta activació i la data en que s'esgotarà la llicència d'aquesta recepció.

Amb el sistema ja operatiu es va procedir a iniciar les primeres preses de contacte, una de les primeres comprovacions que es van realitzar va ser el control de qualitat del senyal rebut, i el temps necessari per a que aquest assoleixi els valors necessaris per a l'òptim funcionament, observant variacions en funció del senyal escollit. La majoria de correccions eren vàlides abans dels 5 minuts, sempre dins la precisió ofertada, però en la correcció Omnistar era necessari deixar un mínim de 20-25 minuts per a assolir una qualitat de senyal acceptable que incrementava fins al seu màxim als 35-45 minuts de funcionament. La precisió assolida es perdia a l'instant quan es desconnectava el sistema, però si es tapava momentàniament l'antena es perdia qualitat durant un temps. Com més temps es tapava l'antena més qualitat es perdia i més temps es trigava a recuperar la precisió inicial.

El que es pretén amb l'anàlisi estàtica és verificar que les magnituds esmentades a l'apartat 5.1.1.b són certes, i quantificar els possibles errors.

L'assaig es va dur a terme de la següent manera: A l'hora de decidir l'espai i la morfologia dels punts d'estudi es va fixar la premissa que fossin immòbils i que la distància entre ells fos d'un metre lineal (Figura A-21).

Es va treballar amb l'antena posicionada de manera estàtica a dos punts de la lleixa del terrat distant un metre lineal entre ells (Figura A-22), i connectada mitjançant el cable subministrat pel fabricant del receptor Trimble AgGPS 332<sup>®</sup>. A la Figura A-22 s'observa els dos estacionaments de l'antena, situada al punt B en el moment de prendre la fotografia. El punt A (cercle de la dreta) dista del B un metre lineal des del centre. Els punts quedarien marcats a la pedra calcant la base circular de l'antena. El centre de la base es pren com a referència per mesurar la distància entre els punts. Donat que l'antena GPS es mouria varies vegades en un mateix dia i es realitzaria dues repeticions amb una setmana de diferència entre elles, el posicionament de l'antena el realitzaria totes les vegades la mateixa persona i de la mateixa manera per a evitar diferents interpretacions de la referència i, per tant, reduir l'error humà. Donat que el terrat està folrat per pedres no fixades, es va descartar la idea inicial de formar tres punts en triangle equilàter de costat igual a la unitat mètrica. Per tant, l'única opció viable fou la de realitzar una recta a la lleixa del terrat a uns 30 metres de l'antena fixa del CATNET (Figura A-23).

El receptor AgGPS 332 situat al laboratori d'agròtica, es va connectar a dos ordinadors de sobretaula. Un anava enregistrant lectures de sentències NMEA 0183 ó NMEA ("National Marine Electronics Association") a través del programa Hiperterminal de Windows, que indicaven la informació sobre posició que rebia el sistema, i l'altre anava enviant les sentències NMEA de les correccions DGPS per l'Hiperterminal de Windows que rebia de l'IRW, quan era necessari (Figura A-24).

A la Figura A-24 es veu la fotografia de la situació dels aparells al laboratori d'agrotica. Els ordinadors han d'estar en aquesta posició degut a la longitud del cablatge i a la disposició dels endolls i connectors de xarxa. L'ordinador de l'esquerra és l'encarregat d'enregistrar les dades mitjançant un programa d'enregistrament dissenyat per l'autor del projecte amb el programari LabView 7.1, i el de la dreta l'encarregat de les correccions de l'IRW. Immediatament a la dreta d'aquest, està el transformador que proporciona el voltatge de 12V al receptor DGPS de color groc situat a la dreta de la imatge. S'observa el cable de connexió receptor-antena que surt per la finestra direcció al terrat on està situada l'antena GPS.

El receptor es va connectar al port RS-232 dels dos PCs mitjançant el cablatge proporcionat pel fabricant. L'ordinador enregistrador al port A del receptor i l'ordinador amb l'IRW al port B. Els port A i B del receptor també permeten la seva alimentació. L'antena es va connectar al port específic del receptor mitjançant el cable coaxial d'antena (Figura A-17 i Figura A-18). L'elecció del tipus de senyal es realitzà directament al receptor amb l'ajut de la pantalla integrada i dels botons frontals (Figura A-16) seguint el mapa de configuració del receptor (Figura A-19). El receptor té en compte les dades de l'IRW només quan no troba una correcció diferencial vàlida. Es per això que s'ha de tenir en compte de no entrar les correccions si estem treballant amb un senyal diferent al Beacon, ja que pot donar precisions diferents al tipus de correcció escollida. Es va fixar la velocitat de transmissió de dades als ports en 9600 bits per segon perquè era més estable i a la freqüència de comunicació NMEA de sortida del receptor (1 Hz) (Trimble. 2005). Es va configurar el port A per a treure les dades de posició NMEA i per a alimentar el receptor i el port B per a l'entrada de les correccions diferencials NMEA de l'IRW.

Les dades es van obtenir al llarg del dia 26/06/2008 aleatoritzant la seqüència d'opcions de correcció DGPS i sense tenir en compte la distribució satel·litària. Al buscar la repetibilitat, es va repetir a la setmana següent emprant el mateix mètode per a estudiar la variabilitat temporal, dia 03/07/2008.

El protocol seguit per l'adquisició de les lectures fou el següent:

#### Punt A:

Primer cal dir que s'engegava el receptor i s'esperava XX minuts per a esperar que la precisió fos la correcta (el temps d'espera depèn del temps mínim per a assolir correccions correctes de la correcció actual)

- Iniciar el programa d'adquisició del senyal GPS amb l'antena al **punt A**.
- Transcorreguts **2 minuts** iniciar l'adquisició de la **lectura XX**, anotar l'hora i llegir durant **5 minuts**.
- **Aturar** el programa adquisició (LabView) amb la variable booleana "Atura" o "Stop".
- Un cop aturat, canviar les opcions de lectura (més informació al final d'aquest apartat) fins assolir la **YY** i tornar al primer punt. Cada vegada que s'arriba a aquest punt s'ha de passar a la següent lectura. Un cop assolides totes les lectures seguir endavant.

#### Punt B:

Canviar de posició l'antena GPS de A a B i seguir les instruccions del punt A aplicades al punt B.

Com ja s'ha dit, els dies 26/06/2008 i 03/07/2008 es van obtenir les dades per a fer l'anàlisi estàtica de la precisió del receptor i de les correccions corresponents, connectant-lo a dos ordinadors a fi d'introduir correccions de l'IRW i d'enregistrar, a través de sentències NMEA, durant un període de temps suficient per a obtenir-ne 300 consecutives vàlides a raó d'un segon per sentència. La mida de les parcel·les de la nostra zona agrícola no possibilita realitzar passades massa llargues i s'ha estimat que de mitjana en un gran nombre d'operacions abans d'haver transcorregut els 5 minuts (300 segons) dels períodes d'obtenció de dades el tractor torna a estar a l'alçada del punt de partida (Baldomà, F. X. 2006). Es va prendre una lectura per punt i dia. A cada punt es va enregistrar les seqüències NMEA de les cinc correccions triades. Després d'obtenir les cinc lectures d'un punt, es va moure l'antena a l'altre punt i es va iniciar l'operació. A cada canvi de correcció, es deixà un temps prudencial entre 5 i 30 minuts (en funció de la correcció actual) per a eliminar correccions residuals de l'anterior lectura, fins i tot arribant a reiniciar l'aparell receptor.

Com ja s'ha dit, es va enregistrar 5 tipus de correcció DGPS per a cada punt i dia, dos punts i dos dies. Això suma un total de 20 registres amb 300 posicions mesurades cadascun (veure annex digital). Cada registre consta de 12 arxius, 6 en text i 6 en full de càlcul. Ambdós extensions contenen la mateixa informació. Un arxiu amb les sentències tal i com les proporciona l'aparell i 5 arxius amb les sentències un cop seccionades, classificades per columnes i reanomenades per a facilitar la comprensió. També s'ha de sumar els arxius resultants de la transformació referencial de les dades.

Es van deixar activades les següents sentències NMEA: GPRMC, GPVTG, GPGSA, GPGSV i GPGGA, que ens proporcionen la següent informació:

**(GP)RMC:**

Amb una sola sentència es proporciona la informació necessària mínima recomanada per a l'ús del SSNG.

**\$GPRMC,hhmmss.ss,A,IIII.II,a,yyyyy.yy,b,x.x,z.z,ddmmyy,v.v,c,m\*hh**

\$GPRMC,184804.00,A,3723.476543,N,12202.239745,W,000.0,0.0,051196,15.6,E\*7C

<b>hhmmss.ss</b>	► Hora UTC de la posició fixada
<b>A</b>	► Alerta de navegació ("V" és la sortida quan el receptor indica que una cosa està malament)
<b>IIII.II</b>	► Latitud de la posició
<b>a</b>	► Hemisferi Nord/Sud
<b>yyyyy.yy</b>	► Longitud de la posició
<b>b</b>	► Quadrant Est/Oest (West)
<b>x.x</b>	► Velocitat en nusos
<b>z.z</b>	► Graus en direcció correcta
<b>ddmmyy</b>	► Data de la posició fixada
<b>v.v</b>	► Graus de variació magnètica del rumb
<b>c</b>	► Direcció de la variació magnètica
	E → restar a la direcció correcta
	W → afegir a la direcció correcta
<b>m</b>	► Indicador de mode
	A → Autònom
	D → Diferencial
	E → Estimat
	N → Valor no vàlid
<b>*hh</b>	► Valor verificador de la sentència

**(GP)VTG:**

Proporciona informació de la trajectòria i de la velocitat.

**\$GPVTG,aaa.a,b,ccc.c,d,eee.e,f,ggg.g,h,i\*jj**

GPVTG,054.7,T,034.4,M,005.5,N,010.2,K,A\*53

<b>aaa.a,b</b>	► Graus del moviment respecte al Nord verdader
<b>ccc.c,d</b>	► Graus del moviment respecte al Nord magnètic
<b>eee.e,f</b>	► Velocitat en nusos
<b>ggg.g,h</b>	► Velocitat en kilòmetres per hora
<b>i</b>	► Indicador de mode
	A → Autònom
	D → Diferencial
	E → Estimat
	N → Valor no vàlid
<b>*jj</b>	► Valor verificador de la sentència

**(GP)GSA:**

Proporciona dades del tipus de fixació, de la qualitat d'aquesta i els satèl·lits utilitzats.

**\$GPGSA,a,b,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,cc.c,dd.d,ee.e\*ff**

ex1. \$GPGSA,A,3,,,,,16,18,,22,24,,,3.6,2.1,2.2\*3C

ex2. \$GPGSA,A,3,19,28,14,18,27,22,31,39,,,,1.7,1.0,1.3\*34

<b>a</b>	► Mode	
	M	→ manual, forçat a funcionar en 2D o 3D
	A	→ 2D/3D automàtic
<b>b</b>	► Mode	
	1	→ fixació no disponible
	2	→ 2D
	3	→ 3D
<b>1-12</b>	► ID satèl·lits visibles usats pel posicionament	
<b>cc.c</b>	► PDOP	
<b>dd.d</b>	► HDOP	
<b>ee.e</b>	► VDOP	
<b>*ff</b>	► Valor verificador de la sentència	

**(GP)GSV:**

Proporciona informació dels satèl·lits visibles.

**\$GPGSV,a,b,c,01,02,03,04,11,12,13,14,21,22,23,24,31,32,33,34\*dd**

ex1. \$GPGSV,1,1,13,02,02,213,,03,-3,000,,11,00,121,,14,13,172,05\*62

ex2. \$GPGSV,3,1,11,03,03,111,00,04,15,270,00,06,01,010,00,13,06,292,00\*74

\$GPGSV,3,2,11,14,25,170,00,16,57,208,39,18,67,296,40,19,40,246,00\*74

\$GPGSV,3,3,11,22,42,067,42,24,14,311,43,27,05,244,00,,, \*4D

<b>a</b>	► Missatges del cicle per a sentència complerta (1,2 o 3)
<b>b</b>	► Nombre del missatge
<b>c</b>	► Nombre de satèl·lits visibles
<b>01</b>	► Nombre del satèl·lit
<b>02</b>	► Elevació en graus, màxim 90
<b>03</b>	► Azimut: graus respecte Nord verdader, 0 a 359
<b>04</b>	► Soroll del senyal, 0-99 dB (nul si no s'usa)
<b>11-14</b>	► Informació del segon satèl·lit, igual que 01-04
<b>21-24</b>	► Informació del tercer satèl·lit, igual que 01-04
<b>31-34</b>	► Informació del quart satèl·lit, igual que 01-04
<b>*dd</b>	► Valor verificador de la sentència

**(GP)GGA:**

Proporciona dades de la posició fixada pel Sistema Global de Posicionament.

**\$GPGGA,hhmmss,ddmm.mmmmmm,a,dddmm.mmmmmm,b,c,dd,e.e,ff,ff,g,hh,hh,i,j,kkkk\*ll**

\$GPGGA,151924,3723.454444,N,12202.269777,W,2,09,1.9,-17.49,M,-25.67,M,1,0104\*57

<b>hhmmss</b>	► UTC de Posició
<b>ddmm.mmmmmm</b>	► Latitud
<b>a</b>	► N o S
<b>dddmm.mmmmmm</b>	► Longitud
<b>b</b>	► E o O/W
<b>c</b>	► Indicador de la Qualitat del SSNG
	0 → posició no vàlida
	1 → fixada per l'aparell (SPS)
	2 → fixada per DGPS
	3 → fixada per PPS
	4 → temps cinemàtic real
	5 → suport RTK
	6 → estimat matemàticament
	7 → entrada manual
	8 → mode simulació
<b>dd</b>	► Nombre de Satèl·lits en ús
<b>e.e</b>	► Dilució Horitzontal de la Posició
<b>f.f</b>	► Alçada de l'antena sobre el Mar
<b>g</b>	► Unitat de l'alçada de l'antena en metres
<b>hh.hh</b>	► Separació entre Geoides WGS84
<b>i</b>	► Unitat de separació geoides en metres
<b>j</b>	► Segons des de l'última correcció diferencial
<b>kkkk</b>	► ID de l'última estació diferencial
<b>*hh</b>	► Valor verificador de la sentència

Les sentències van ser enregistrades de dues maneres. Totes juntes tal i com surten del sistema GPS i una a una seccionant la sentència i anomenant cada element per columnes. Aquestes dades es van emmagatzemar tant en arxius de text (\*.txt) com en arxius excel (\*.xls) per a facilitar el seu tractament en un futur.

La configuració necessària per a seleccionar les diferents correccions és la següent:

Al receptor AgGPS 332, anar a "configuration/DGPS config" i aplicar les opcions per a la lectura desitjada:

NC- Sense correcció

- a "DGPS source" seleccionar "**Beacom**",
- a "mode DGPS" seleccionar "**manual apa**" i
- a "WAAS/EGNOS" seleccionar "**apg**"

CE- Correcció EGNOS

- a "DGPS source" seleccionar "**Waas/Egnos**",
- a "mode DGPS" seleccionar "**DGPS solo**" i
- a "WAAS/EGNOS" seleccionar "**enc**"

CA- Correcció DGPS amb l'estació de Lleida

a "DGPS source" seleccionar "**Beacom**",

a "mode DGPS" seleccionar "**DGPS solo**",

a "WAAS/EGNOS" seleccionar "**apg**" i

al programa "radio" seleccionar l'"**estació DGPS de Lleida (UdL)**"

CV- Correcció DGPS amb estació virtual

a "DGPS source" seleccionar "**Beacom**",

a "mode DGPS" seleccionar "**DGPS solo**",

a "WAAS/EGNOS" seleccionar "**apg**" i

al programa "radio" seleccionar "**Virtual DGPS ver RTCM 2.3/DGPS**"

CO- Correcció via OMNISTAR

a "DGPS source" seleccionar "**Omnistar HP/XP**",

a "mode DGPS" seleccionar "**DGPS solo**" i

a "WAAS/EGNOS" seleccionar "**apg**"

Recordatori: la correcció DGPS es realitza amb el programa Ntrip GNSS Internet Radio Windows.

#### 5.1.1.d. Anàlisi de dades

Per al tractament en gabinet de les dades obtingudes, s'han utilitzat diferents eines i mètodes de càlcul. En tots els casos el primer pas ha estat passar-les a un full de càlcul, amb el qual s'han pogut processar per a estudiar-les i transformar-les segons les necessitats de cada càlcul. Un cop les dades es van filtrar i classificar, es va modificar el format i enregistrar en un arxiu de text segons els requeriments del programa informàtic GEOTRANS Geographic Translator V2.4.1 que va passar les coordenades geodèsiques WGS84 a UTM ED50, valors que una vegada reintroduïts a l'Excel es poden analitzar i representar gràficament.

Aquest és el protocol seguit per al tractament de les dades de l'estudi:

- Connexió del sistema receptor amb els ordinadors de taula,
- Llegir les sentències NMEA amb el programa dissenyat a tal efecte amb el LabView i guardar-les en un fitxer de text i un de càlcul. L'arxiu global generat pel programa es com el que es mostra a continuació:

Arxiu generat amb el GPS del CMA al terrat ed.4 de l'ETSEA  
 DATA: 03/07/2008 HORA: 12:49:20  
 C:\dades\Data d'Adquisició\_03-07-2008\_12\_49\_20.txt  
 El mateix arxiu en excel està disponible a la carpeta "en excel"

Data i hora \$GPRMC	Sentències NMEA obtingudes pel GPS
03/07/2008 10:49:14	\$GPRMC,104914,A,4137.771182,N,00035.764513,E,000.03,289.3,030708,3.1,W,R*21
03/07/2008 10:49:14	\$GPVTG,289.3,T,,000.03,N,000.05,K,R*55
03/07/2008 10:49:14	\$GPGSA,A,3,08,02,07,10,13,15,24,25,26,27,28,,1.5,0.8,1.2*3D
03/07/2008 10:49:14	\$GPGGA,104914.00,4137.77118217,N,00035.76451310,E,4,11,0.8,199.289,M,51.608,M,11.0,1000*77
03/07/2008 10:49:14	\$GPGSV,3,1,11,13,12,082,42,07,34,049,50,10,72,295,51,26,30,284,45*78
03/07/2008 10:49:14	\$GPGSV,3,2,11,08,73,059,54,25,15,049,41,27,43,049,47,24,22,304,47*7C
03/07/2008 10:49:14	\$GPGSV,3,3,11,28,26,144,47,02,22,216,46,15,18,281,43,,,,*41
03/07/2008 10:49:15	\$GPRMC,104915,A,4137.771182,N,00035.764510,E,000.01,223.3,030708,3.1,W,R*21
03/07/2008 10:49:15	\$GPVTG,223.3,T,,000.01,N,000.02,K,R*50
03/07/2008 10:49:15	\$GPGSA,A,3,08,02,07,10,13,15,24,25,26,27,28,,1.5,0.8,1.2*3D
03/07/2008 10:49:15	\$GPGGA,104915.00,4137.77118204,N,00035.76451027,E,4,11,0.8,199.292,M,51.608,M,12.0,1000*7A
03/07/2008 10:49:15	\$GPGSV,3,1,11,13,12,082,42,07,34,049,50,10,72,295,51,26,30,284,45*78
03/07/2008 10:49:15	\$GPGSV,3,2,11,08,73,059,53,25,15,049,41,27,43,049,47,24,22,304,47*7B
03/07/2008 10:49:15	\$GPGSV,3,3,11,28,26,144,47,02,22,216,46,15,18,281,43,,,,*41
03/07/2008 10:49:16	\$GPRMC,104916,A,4137.771181,N,00035.764510,E,000.00,0.0,030708,3.1,W,R*20
03/07/2008 10:49:16	\$GPVTG,0.0,T,,000.00,N,000.01,K,R*52
03/07/2008 10:49:16	\$GPGSA,A,3,08,02,07,10,13,15,24,25,26,27,28,,1.5,0.8,1.2*3D
03/07/2008 10:49:16	\$GPGGA,104916.00,4137.77118078,N,00035.76451015,E,4,11,0.8,199.294,M,51.608,M,13.0,1000*76
03/07/2008 10:49:16	\$GPGSV,3,1,11,13,12,082,43,07,34,048,51,10,72,295,51,26,30,284,45*79
03/07/2008 10:49:16	\$GPGSV,3,2,11,08,73,059,53,25,15,049,41,27,43,049,47,24,22,304,46*7A
03/07/2008 10:49:16	\$GPGSV,3,3,11,28,26,144,47,02,22,216,47,15,18,281,43,,,,*40

La diferència horària entre el rellotge de l'ordinador i el de la sentència recau en la zona horària i l'hora solar.

- Obrir el fitxer amb Excel. Transformar-lo, copiar les columnes de posició, enganxar-les en un arxiu nou i guardar amb el format "text amb format (delimitat per espais).prn" perquè el pugui llegir el programa GEOTRANS Geographic Translator V2.4.1, dissenyat per a realitzar conversions de coordenades. En el nostre cas de coordenades geodèsiques WGS84 a coordenades UTM ED50.

El fitxer d'entrada creat informa de les característiques de les dades del fitxer d'entrada requerides pel Geotrans.

```
COORDINATES: Geodetic
DATUM: WGE
NO HEIGHT
#Les dades originals han d'estar en coordenades geogràfiques i sistema WGS84!
#Columnes: Latitud, Longitud
#Els decimals han d'anar amb punt (no amb coma)!
#Guardar aquesta pàgina com a "Text amb format (delimitat per espais).prn" amb el nom de l'arxiu "el que es vulgui.prn"
#El programa Geotrans entén el format *.prn
#Abans d'obrir l'arxiu des del Geotrans, cal seleccionar la precisió del resultat: Options -> Precision -> 0.001m
END OF HEADER
```

#Columnes retornades X(m) - Y(m)

```
41/37.771240,00/35.764540
41/37.771241,00/35.764540
41/37.771239,00/35.764542
41/37.771238,00/35.764545
```



- Obrir el programa Geotrans i anar a Options ↓ Precision ► i marcar l'opció "0.001m" per a tenir precisió de mil·límetres en les coordenades convertides (Figura A-25).

Per obrir l'arxiu \*.prn creat (File ↓ Open), seleccionar en el desplegable "tipus de fitxer" l'opció "All files" per a poder veure els arxius \*.prn. A continuació, seleccionar l'arxiu desitjat i obrir-lo. Es desplegarà una finestra on s'ha de comprovar que a la part de dalt, on hi diu el tipus de coordenades que són, hi surt el format de les nostres coordenades originals (sistema WGS84, el·lipsoide WGS84 i coordenades geodèsiques). A la part de baix cal seleccionar EUR-7 i UTM (Figura A-26). Cal repetir l'operació per a cada conversió per no tenir problemes posteriors, ja que el programa reinicia les opcions per defecte. El resultat de la conversió és un arxiu que s'haurà d'anomenar amb el mateix nom que el \*.prn però amb el format \*.dat i guardar a la mateixa carpeta.

- Obrir els arxius \*.dat des de l'Excel (cal tenir el Windows configurat amb "." decimal {tauler de control ► opcions regionals} per evitar incompatibilitats). Guardar-los tots en format Excel (\*.xls) per al seu tractament.

- Obrir fitxer a fitxer amb el programa Excel i fer els càlculs i gràfics corresponents.

## ANÀLISI ESTADÍSTICA DELS RESULTATS

Es recorda que es va enregistrar 5 tipus de correcció DGPS per a cada punt i dia, dos punts i dos dies. Això suma un total de 20 registres amb 300 posicions mesurades cadascun (veure annex digital). Enregistrar diversos períodes de 5 minuts ens permet valorar dos conceptes respecte el senyal. Per un costat la precisió del senyal dins el període de temps de l'adquisició, precisió que es pot observar als gràfics de les figures dels resultats i la repetibilitat del senyal a l'hora de posicionar el mateix punt en diferents hores del dia i al cap d'una setmana. La repetibilitat és representa amb una circumferència de radi 2DRMS o CEP (*Circular Error Probable* [Gilbert. 2003]), la qual mostra l'àrea on s'espera que es mostri la posició amb un grau d'encert del 95% i 50% respectivament. El radi ens indica la probabilitat que el valor de la posició estigui dins de la circumferència que defineix amb centre a la mitjana de la posició donada (Equació 5.1, Equació 5.2, Equació 5.3 i Equació 5.4).

Un cop arribat a l'últim pas del protocol, es va realitzar per a cada adquisició un gràfic de dispersió amb l'àrea de probabilitat d'encert (95%) de radi 2DRMS. A fi de veure gràficament els resultats es va introduir tots els gràfics en un de sol (Figura A-27) i també es va afegir el CEP al gràfic de la Figura A-27 (Figura 5.20). A la Figura A-27 es pot veure la diferència del valor d'incertesa 2DRMS (circumferència) i de les coordenades de la posició mitjana en funció de la correcció utilitzada. A la Figura 5.20 es pot veure la diferència del valor d'incertesa 2DRMS i CEP.

Les equacions utilitzades per a calcular el valor numèric 2DRMS són:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Equació 5.1:

On  $\bar{X}$  és el valor mitjà de la coordenada  $x$ ,  $\sum$  és el sumatori de tots els valors de la coordenada  $x$ ,  $x_i$  és un valor de la coordenada  $x$ ,  $i$  és l'identificador de l'ordre de cua del valor ( $0 \leq i \leq n - 1$ ) i  $n$  és el nombre total de valors de la coordenada  $x$ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Equació 5.2:

On  $\sigma$  és la desviació estàndard mostral de la coordenada  $x$ ,  $\sum_{i=1}^n$  és la suma del resultat de totes les iteracions de  $i=1$  a  $n$ ,  $i$  és l'identificador de l'ordre de cua del valor,  $x_i$  és el valor de la coordenada  $x$ ,  $\bar{x}$  és la mitjana dels valors de la coordenada  $x$  i  $n$  és el nombre total de valors de la coordenada  $x$ .

$$2DRMS = 2\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

Equació 5.3:

On 2DRMS ("Distance Root Mean Square") és el doble de l'arrel quadrada de l'error mitjà i representa el radi de la circumferència centrada en el valor mitjà que conté el 95% dels valors,  $\sigma_x$  és la desviació estàndard de la coordenada  $x$  i  $\sigma_y$  és la desviació estàndard de la coordenada  $y$ .

Assumint que l'error en la coordenada  $X$  és el mateix que l'error de la coordenada  $Y$ , que la relació entre la dilució de la precisió vertical (VDOP) i la dilució de la precisió horitzontal (HDOP) és 1,9 i que la relació entre la dilució de la precisió tridimensional (PDOP) i la dilució de la precisió horitzontal (HDOP) és 2,1. La relació entre els paràmetres de les mesures de precisió per a les distribucions d'error circular gaussià "2DRMS" i "CEP" és:

$$2DRMS = 2,4 * CEP$$

Equació 5.4:

Com més petits són els valors de 2DRMS i CEP major és la precisió del posicionament perquè hi ha menys dispersió de les coordenades estimades pel receptor.

### 5.1.2. Sistema de guiatge

Els materials utilitzats per a realitzar aquest apartat han estat:

- ☞ Tractor Ebro 6070 SINCRO 12 de tracció simple amb cabina rígida
- ☞ Antena i receptor GPS Trimble® AgGPS® 332 propietat del CMA
- ☞ Suport d'antena GPS imantat
- ☞ Cable i allargador d'antena receptor-antena, en total 5 metres
- ☞ Receptor RTK de Leica® compost per dues antenes GPS, un suport imantat, un suport tríode, dos receptors GPS amb intercomunicació via ràdio, dues antenes radio, una agenda, dues bateries, un carregador de bateries, un nivell amb cinta mètrica de dos metres i el cablatge necessari per la connexió dels aparells
- ☞ Ordinador portàtil PIII 1.3GHz amb SO Windows XP
- ☞ Ordinador industrial PIII 1.0 GHz amb SO Windows XP, 4 ports RS232 de 9 pins, 4 ports USB, refrigeració passiva i alimentació a 12V
- ☞ Un connector receptor GPS-PC necessari per a comunicar el receptor amb l'ordinador
- ☞ Teclat i Ratolí USB amb estoreta rígida
- ☞ Pantalla tàctil de 19"
- ☞ Convertidor elèctric de 12V/220V de 150W amb endoll per a encenedor d'automòbil
- ☞ Presa de corrent per a encenedor d'automòbil per a instal·lar al tractor
- ☞ Suport de pantalla plana fixat a la cabina del tractor
- ☞ Targeta d'adquisició multifunció
- ☞ Cable connector placa adquisició-RS232
- ☞ 2 sensors de proximitat inductius per a adquirir el moviment de les rodes
- ☞ 1 sensor de proximitat inductiu per a adquirir el moviment de la presa de força
- ☞ 2 cabalímetres per a mesurar el consum de combustible, un és per al retorn
- ☞ Una cinta mètrica de 25 metres i una autoenrotllable de 5 metres.
- ☞ Protector auditiu
- ☞ Esprai fluorescent taronja per al marcat en obra a l'aire lliure
- ☞ Càmera fotogràfica digital de 4 Mp Olympus μ[mju:] 400 DIGITAL
- ☞ Programes informàtics: National Instruments LabView 7.1®, Microsoft Excel 2007®, Microsoft Word 2007®, Mozilla Firefox 3.0.11®, calculadora científica de Windows XP® i Microsoft® Paint v5.1.

#### 5.1.2.a. Principi de funcionament

Definició prèvia de les variables:

Posició objectiu o ideal: és la posició que s'hauria d'assolir per a seguir el camí desitjat per l'usuari.

Trajectòria del tractor: línia que descriu un cos mòbil (el tractor) en l'espai.

Trajectòria ideal: línia que es vol que descrigui el tractor en l'espai.

Angle de gir del tractor: és la diferència d'angle entre la trajectòria del tractor i la ideal.

Posició o punt ideal actual: és la posició que hauria d'assolir el tractor per a seguir la trajectòria ideal.

Posició tractor actual: és l'última posició coneguda del tractor.

Posició o punt ideal anterior: és de la posició que hauria de vindre el tractor.

Posició tractor anterior: és la penúltima posició coneguda del tractor.

Passada: és el camí definit per dues fileres contigües.

Passada actual ideal: és el camí a seguir pel tractor per a realitzar la passada més propera.

El principi de funcionament s'ha basat sobretot en la trigonometria. Aquesta ha permès representar matemàticament la posició relativa i el moviment del tractor en l'espai respecte a la posició objectiu. Per a determinar el moviment instantani del tractor en relació al moviment desitjat es creen dues rectes.

Una per a la trajectòria del tractor i l'altra per la trajectòria desitjada o ideal del tractor (Figura 5.1 i Figura A-65). Amb aquestes dues rectes es pot saber quin és l'angle que difereix entre la trajectòria del tractor i la trajectòria ideal i, per tant, l'angle que ha de girar el tractor per a assolir la trajectòria esperada. L'angle a girar serà el mateix, regla de la "X", i en el mateix sentit de gir en qualsevol sentit de la marxa donades dues rectes, en el nostre cas són la *Recta trajectòria actual* i *Recta Posició GPS actual-Posició Ideal actual*. Quan l'angle a girar és negatiu el gir serà a la dreta i quan és positiu a l'esquerra. El tractor va avançant, quan aquest supera la posició objectiu o ideal actual o supera la coordenada sobre l'eix d'abscisses, s'ha de dirigir a la següent posició ideal per a continuar avançant sobre la trajectòria desitjada.

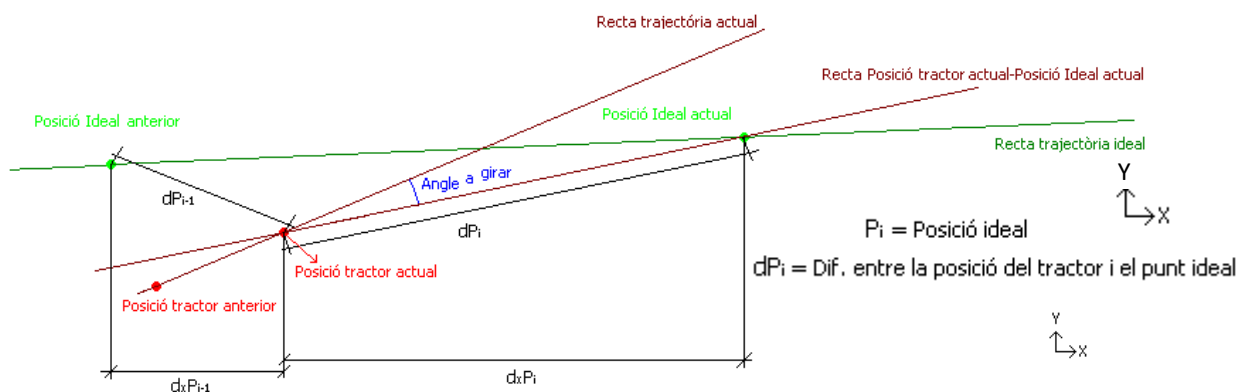


Figura 5.1: Esquema del principi de funcionament del guiatge.

On  $dP_{i-1}$  és la distància entre la posició del tractor i el punt ideal anterior,  $d_{xP_{i-1}}$  és la distància sobre la coordenada X entre la posició del tractor i el punt ideal anterior,  $dP_i$  és la distància entre la posició del tractor i el punt ideal actual i  $d_{xP_i}$  és la distància sobre la coordenada X entre la posició del tractor i el punt ideal actual.

El punt ideal actual s'actualitza pel següent punt ideal quan la distància des de la posició actual fins al punt ideal actual és inferior a la distància des de la posició actual fins al punt ideal anterior o bé quan la distància en l'eix d'abscisses des de la posició actual fins al punt ideal actual és inferior a la distància des de la posició actual fins al punt ideal anterior.

L'angle de gir per a seguir la trajectòria ideal es calcula amb la diferència entre l'angle de la recta definida pels punts Posició tractor actual i Posició Ideal actual, i l'angle de la recta trajectòria definida pels punts tractor anterior i tractor actual. Si l'angle és positiu es guiarà a l'esquerra i si és negatiu a la dreta.

El criteri per a saber quan el tractor ha finalitzat la filera és realitzar una recta perpendicular a la recta ideal de referència en el punt final de la passada actual. Un cop es supera aquest límit es sobreentén que s'ha arribat a la capçalera de la fila i, per tant, s'està fora al carrer. El mètode per a saber si s'ha superat la recta perpendicular és comparant el signe del valor resultant de la diferència entre la ordenada de la posició del tractor actual i la ordenada ideal amb la mateixa abscissa i el signe de la diferència anterior. Si el producte dels signes és negatiu, vol dir que aquests són diferents i per tant s'ha superat la recta perpendicular.

Per a saber la passada més propera al tractor i si l'usuari l'ha escollit per a realitzar-la, es calcula la posició relativa del tractor en front al primer i segon punt de la passada actual i al primer punt de les passades veïnes (Figura 5.2 i Figura A-66). Si la distància més curta és amb el punt inicial de la passada

de l'esquerra, el tractor s'està desplaçant a l'esquerra i per tant es desplaça la passada actual a la passada de l'esquerra. Si la distància més curta és amb el punt inicial de la passada de la dreta, el tractor s'està desplaçant a la dreta i per tant es desplaça la passada actual a la passada de la dreta. Si la distància més curta és amb el punt inicial de la passada actual, el tractor no s'ha desplaçat de filera. Si la distància més curta és amb el segon punt de la passada actual, el tractor s'està desplaçant per la passada actual, és a dir, l'usuari l'ha escollit per a realitzar-la i per tant s'ha de guiar per aquesta passada.

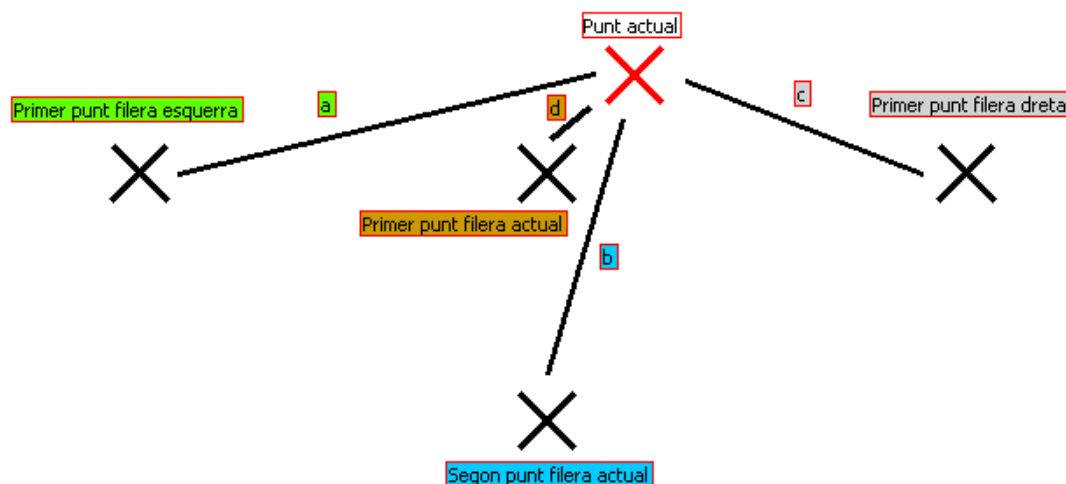


Figura 5.2: Esquema del funcionament per a la presa de decisió del mòdul previ al guiatge.

On “a” és la distància del tractor al primer punt de la passada de l'esquerra, “b” és la distància del tractor al segon punt de la passada actual, “c” és la distància del tractor al primer punt de la passada de la dreta i “d” és la distància del tractor al primer punt de la passada actual.

Com ja s'ha vist, el mòdul d'ajut al guiatge està preparat per a guiar a l'usuari cap a un punt concret. Aquest punt es va actualitzant a mesura que es va assolint. És a dir, quan el tractor s'acosta al punt ideal actual (o punt objectiu) cal anar a buscar el següent per a seguir la trajectòria ideal. Aquesta, és la recta que representa el centre de la passada i per tal de seguir-la el programa la divideix en trams. Aquests trams estan delimitats per punts que pertanyen a la recta de la trajectòria ideal. Aquests trams tenen una longitud i per tant els punts disten entre ells aquesta distància sobre la recta. L'usuari pot escollir la distància entre els punts ideals a excepció de la distància entre el primer i el segon punt de la passada que està fixat per l'autor en 3 metres. Les opcions que s'ofereixen a l'usuari són:

- una distància entre punts de 3 metres,
- una distància entre punts de 10 metres,
- una distància entre punts de 50 metres.

Aquestes tres distàncies serveixen per a determinar si el mòdul de guiatge guia millor a distàncies curtes, a distàncies llargues o és indiferent a la distància on es troba el punt a assolir. Així es podrà estudiar en un futur projecte el millor rang de funcionament.

L'usuari es guia gràcies a una barra de llums que li transmet orientativament el canvi d'angle que ha de realitzar el tractor per a seguir amb la trajectòria ideal. Hi ha una segona barra de llums per a corregir més acuradament la trajectòria del tractor per a les petites desviacions de la trajectòria.

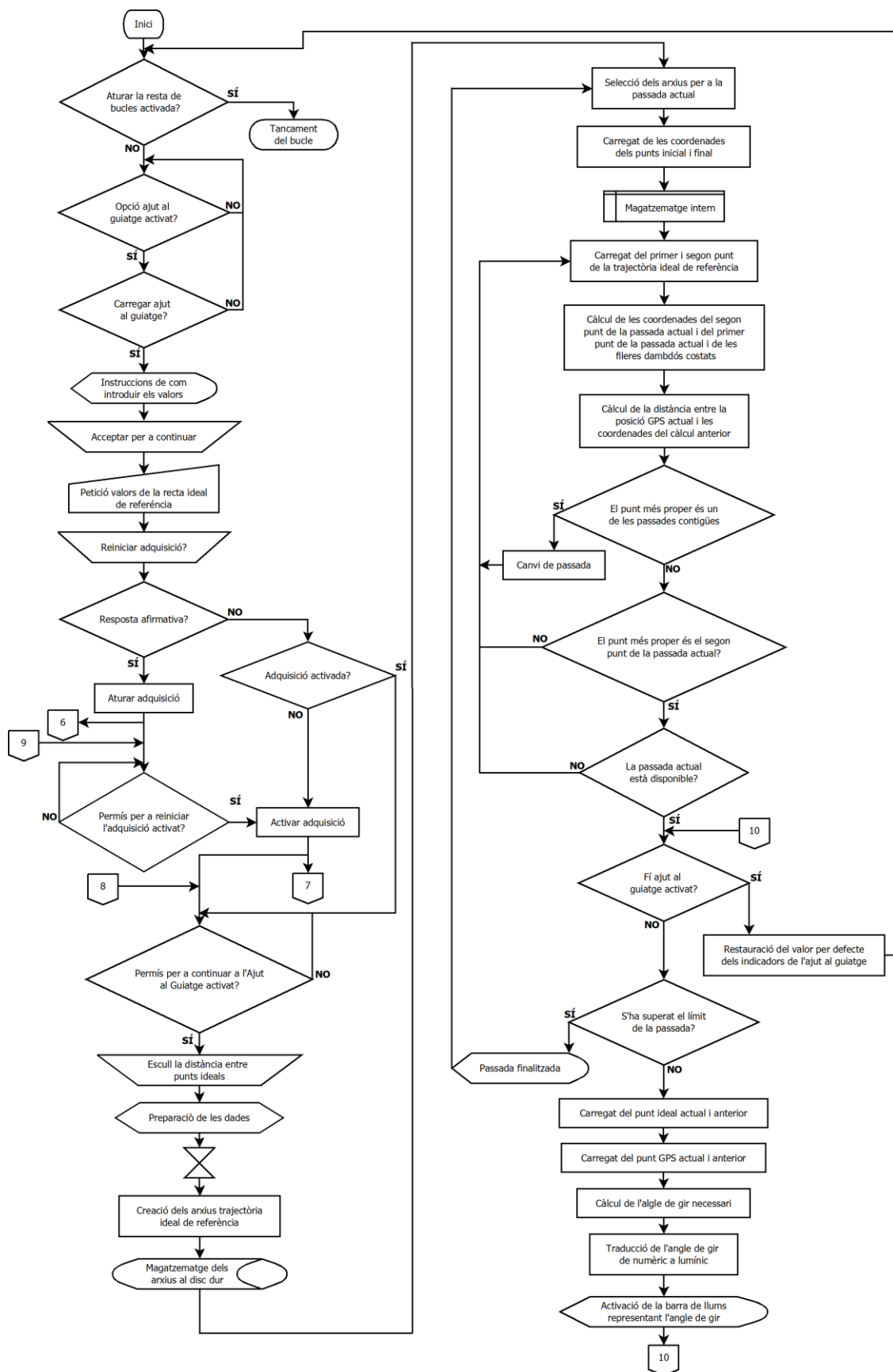


Figura 5.3: Diagrama de flux del mòdul d'ajut al guiatge.

### 5.1.2.b. Funcionament del Mòdul de l'ajut al guiatge

L'estructura de la Figura 5.3 és l'encarregada d'iniciar, configurar i gestionar el sistema d'ajut al guiatge creat en aquest treball. Per defecte, l'ajut al guiatge roman desactivat (Figura B-1 i Figura B-2). A la Figura B-1 es mostra una captura de pantalla de la pestanya *Trajecte Ideal* on es veu el rètol lluminós "Ajut al guiatge en procés" que s'il·lumina intermitentment sempre que es vegi aquesta imatge a la pantalla i l'ajut al guiatge estigui desactivat. Com ja s'ha dit anteriorment, el valor de les coordenades del punt ideal és zero mentre l'ajut al guiatge roman desactivat (Figura B-2). Més endavant es veurà perquè aquesta configuració a l'inici del bucle no afecta quan està en funcionament. Quan aquest bloc s'aturi per ordre del bloc principal, la constant "cert" encerclada és la que avisarà a la funció Èxit (Figura A-33) que pot sortir de l'aplicació quan la resta de blocs finalitzin.

Quan es selecciona la pestanya el que fa l'estructura és il·luminar intermitentment el rètol "Ajut al guiatge en procés" de la Figura B-1 fins que es prem el botó "Activar" (Figura B-3 i Figura B-4). Llavors, apareix la pestanya que ens permetrà iniciar l'ajut al guiatge prement el botó "Introducció Valors" (Figura B-5). Quan es seleccioni aquest últim botó, apareixerà una pantalla on s'informarà de com introduir les coordenades dels punts extrems de la recta de referència (Figura B-6) i a continuació es podran introduir. La frase informativa de la Figura B-6 fa pampallugues canviant el seu estat al corresponent de la imatge inferior de la figura. La part inferior de la imatge de la figura correspon a l'altre estat lluminós de la frase.

A la Figura B-3 es veu la barra de llums superior que apareix a totes les pestanyes a excepció de la de configuració. De les dues inferiors, la barra de llums superior mostra la mateixa informació que la comuna a totes les pestanyes. I la inferior és l'ampliació de la zona central de la barra comuna (Figura B-17), és a dir, la zona blanca que s'explicarà més endavant.

A la Figura B-4 es mostra una captura de pantalla del diagrama de blocs on es pot observar que abans de seleccionar el botó "Iniciar Ajut al Guiatge" l'estructura condicional tindrà l'estat fals igual que el valor de sortida d'aquesta (a la figura es mostra l'estat cert). I el botó "Introducció valors" (a la Figura B-4 "Introduir valors per a començar") rep el valor fals i no està visible. Quan es selecciona el botó "Iniciar Ajut al Guiatge" l'estructura condicional està com es mostra a la Figura B-4 i per tant el botó "Introducció valors" està visible. Aquí el "Mòdul de l'ajut al guiatge" espera a que es premi el botó "Introducció valors" per a continuar.

A continuació apareixerà una sèrie de pantalles on es poden introduir les coordenades en l'ordre indicat i la seva confirmació (Figura B-7 i Figura B-8). En cas de cancel·lar durant el procés, el programa torna al punt de partida corresponent a la Figura B-3. A la Figura B-7 es mostra els quatre teclats numèrics que apareixeran consecutivament per a entrar les coordenades dels punts extrems de la fila de referència a mode de recta ideal. L'ordre és d'esquerra a dreta i de dalt a baix. Si al diàleg de la Figura B-8 es selecciona "corregir" es torna al primer teclat numèric de la Figura B-7. Si en qualsevol dels quatre teclats numèrics es cancel·la el procés, apareix un diàleg preguntant si es vol avortar o reintentar l'entrada de les coordenades dels punts de la recta ideal de referència (Figura B-9). Si no es cancel·la l'entrada de les coordenades de la recta ideal es torna al primer teclat numèric de la Figura B-7. Si per el contrari es cancel·la es torna al estat corresponent a la imatge de la Figura B-3.

Un cop entrades les coordenades per a crear la recta ideal de referència s'amaga el botó per a iniciar l'ajut al guiatge, es mostra el botó per a poder cancel·lar l'ajut al guiatge i es pregunta si es vol canviar l'arxiu d'enregistrament de dades (Figura B-10). Si es vol individualitzar les dades referents a la feina realitzada amb el mòdul d'ajut al guiatge funcionant s'ha de prémer "Sí" al diàleg de la Figura B-10. A continuació es podrà modificar el nom del registre. Quan l'adquisició de dades estigui desactivada, serà indiferent quina opció s'esculli perquè es demanarà un nom per a poder enregistrar les dades. Donat el cas que es vulgui reiniciar l'adquisició de dades i aquesta estigui activada, el mòdul de l'ajut al guiatge

emetrà l'ordre d'aturar l'adquisició, esperarà a que aquesta estigui aturada, l'activarà de nou i s'esperarà a que estigui un altre cop activada abans de continuar (Figura B-11). També s'eliminen els arxius temporals creats en l'anterior funcionament de l'ajut al guiatge. No s'eliminen fins aquest punt per si són necessaris per a la feina de gabinet i així poder recuperar-los després de cada guiatge.

El diàleg referent a la imatge de la Figura B-10 correspon a la subrutina de la Figura B-11 titulada *True si es reinicia Adquisició* de color groc. Quan l'estructura condicional té valor fals s'activa l'adquisició. Quan està com a la Figura B-11, primer atura l'adquisició, després espera que la programació corresponent a la Figura A-49 doni el valor cert a "Pass Reiniciar Adquisició" per a poder tornar a activar l'adquisició. A continuació activa el bloqueig per a evitar sortir de l'aplicació mentre l'ajut al guiatge està activat ("Pass apaga adq", Figura A-44) i espera a que la programació corresponent a la Figura A-44 doni el valor cert a "Pass Ajut al guiatge" per a poder continuar.

A continuació es demana triar entre 3, 10 i 50 metres la longitud distant entre punts contigus sobre la recta ideal de referència i la seva confirmació (Figura B-12 i Figura B-13). La frase informativa de la Figura B-12 fa pampallugues canviant el seu estat al corresponent de la figura inferior. La part inferior de la figura correspon a l'altre estat lluminós de la frase. El diàleg de la Figura B-13 permet corregir la distància tornant a la Figura B-12 o validar la distància i continuar.

A continuació, el programa configura els arxius on es desglossa la informació que es necessitarà durant el funcionament del mòdul d'ajut al guiatge. Així la informació a processar mentre es fa la passada o es canvia de filera és menor i més concreta. Per tant, s'evita sobrecarregar el maquinari innecessàriament quan s'està guiant i es limita la possibilitat d'obtenir retards en les correccions de la trajectòria.

El primer pas per a crear els arxius és disposar els punts entrats amb anterioritat de menor a major abscissa per a simplificar els càlculs, primer i últim punt de referència respectivament. Tot i això s'iniciarà pel primer punt entrat de la recta ideal de referència. A continuació s'obtenen els paràmetres de la recta ideal de referència (Equació 5.5). Amb la constant "A" i la distància entre punts es calcula quin increment de coordenades és necessari sumar o restar per a desplaçar-se aquesta distància sobre la recta ideal de referència. També es calcula l'increment de coordenada per a una longitud sobre la recta de tres metres que serà la distància entre el primer i segon punt de cada passada. Aquesta distància s'ha escollit arbitràriament per l'autor del projecte.

$$y = A * x + B$$

Equació 5.5:

On "y" és el valor de la coordenada y ideal, "x" és el valor de la coordenada x ideal, "A" és el pendent de la recta i "B" és el punt de tall amb l'eix d'ordenades.

Amb els paràmetres establerts s'inicia el segon pas. Aquest consisteix a representar en arxius de text la recta ideal de referència punt a punt. Des del punt inicial de la passada fins un punt passat el punt final. Com que aquests punts inicial i final són diferents si es va d'un punt a l'altre o a l'inrevés, s'ha definit la passada d'anada i la passada de tornada. La passada d'anada correspon a les del mateix sentit que la primera i la de tornada a les de sentit contrari. Per tant, hi ha quatre arxius per a la passada d'anada i quatre per a la de tornada. Un arxiu per a les abscisses de la trajectòria ideal de referència, un per a les ordenades de la trajectòria ideal de referència, un per a les abscisses dels punts inicial i final i un altre per a les ordenades dels punts inicial i final. Aquests dos punts corresponen als entrats per l'usuari i disposats en ordre en funció del sentit de la marxa.

Un cop creats els arxius es guarden al disc dur i s'activa la representació dels punts ideals a les gràfiques.



Ara l'ajut al guiatge ja està en funcionament a la espera que el tractor entri a una filera, és a dir, que s'acosti al segon punt ideal d'una filera qualsevol. Aquest, com ja s'ha dit, dista 3 metres del primer punt. Per tant, quan el tractor estigui a menys d'1,5 metres de distància, el programa seleccionarà aquesta filera i començarà a guiar. Com que tot just s'inicia el guiatge i no s'ha realitzat cap passada, totes les fileres estan disponibles i es poden triar per a realitzar la tasca actual.

Tot seguit s'explicarà quina és la manera de funcionar d'aquest mòdul. Per a una millor comprensió del seu funcionament, cal dir que s'explicarà tots els camins que aquesta part del programa pot seguir durant una volta del bucle *Execució Ajut al Guiatge* com si fos un arbre de possibilitats. Des de la selecció del tipus de passada (anada o tornada) fins a que el botó *Fi ajut al guiatge* pren el valor "cert", és a dir, l'usuari decideix aturar l'ajut al guiatge. És a dir, totes les possibilitats que s'explicaran no es realitzaran conjuntament en el mateix cicle durant una execució normal.

Primer de tot, es seleccionen els arxius del tipus de passada. Per defecte és la passada d'anada. Es carrega les coordenades del punt final de la recta ideal de referència i es reserva per més endavant. A continuació es carrega el primer i segon punt ideal de referència i el pendent de la recta ideal de referència. Amb aquests valors i amb l'amplada de treball introduïda juntament amb el número de filera actual, es calcula l'increment necessari del valor de les coordenades de referència per a obtenir les coordenades del primer i segon punt de la filera actual i el primer punt de les dues fileres contigües, la de la dreta i la de l'esquerra.

Les passades poden prendre dos estats: disponible i no disponible. Paral·lelament, es comprova si s'ha d'actualitzar l'estat de la passada anterior i es comprova l'estat de la passada actual. L'estat inicial és disponible per a totes elles. Cada vegada que es realitza una passada, aquesta canvia d'estat. Quan l'estat d'una passada és "no disponible" el programa ens avisarà amb la llum corresponent de color vermell (Figura B-14) i no ens permetrà passar-hi virtualment per segona vegada. Com es pot deduir en mirar la Figura B-14, quan la passada està disponible es veu la part superior i quan no està disponible es veu la part inferior. Quan es finalitza la passada apareix intermitentment durant 5 segons l'indicador de la Figura B-15.

D'aquesta manera, es pot iniciar la tasca a qualsevol de les passades paral·leles en comptes d'estar obligats a fer-ho per la de referència. L'única limitació actual del programa en aquest aspecte és que disposem de 50 passades a ambdós costats de la passada de referència. En el nostre país les parcel·les són més aviat petites (Baldomà, F.X. 2006) i la majoria no disposa de suficient amplada per a necessitar 101 passades en un mateix camp. D'altra banda, donat el cas que la parcel·la superi aquesta xifra, seria recomanable reiniciar l'ajut al guiatge per a recalcular la posició i així eliminar possibles errors acumulats si l'inici i final de les fileres no són del tot paral·lels a la recta ideal de referència i d'errors acumulats en les correccions diferencials de posició. L'inconvenient de començar en una passada diferent a la de referència és que el programa no es situa directament a la filera actual, sinó que s'acosta seqüencialment des de la de referència fins trobar l'actual. I si es té en compte que per cada canvi de filera trigarà el temps d'execució establert a l'inici del programa, per defecte 1 segon, trigarà tantes vegades aquest temps com el número de passades entre la ideal i l'actual. En resum, suposant un temps d'execució d'un segon i el tractor situat a la filera 50, el programa trigarà aproximadament 50 segons a situar-se sobre la passada actual. Per tant, haurem d'esperar aquest temps abans de poder iniciar la feina. Cal dir que aquesta espera només serà necessària al principi. Després a mesura que el tractor va recorrent el lateral del camp per a anar a buscar la passada contigua o una passada qualsevol, el programa canvia la filera actual simultàniament. Més endavant s'explicarà amb més detall aquest aspecte del funcionament.

A continuació, el programa ja disposa de suficient informació per a decidir què ha de fer l'ajut al guiatge. El mòdul encarregat de prendre aquesta decisió la pren en funció de les distàncies que hi ha entre la

posició real del tractor i les coordenades dels punts inicials de la passada actual i les veïnes. Aquest mòdul disposa de quatre opcions (Figura A-66):

1- si la distància més curta és amb el punt inicial de la passada de l'esquerra, fa que es desplaci la passada actual a la passada de l'esquerra i es torna a iniciar el cicle des de la selecció dels arxius del tipus de passada.

2- si la distància més curta és amb el punt inicial de la passada de la dreta, fa que es desplaci la passada actual a la passada de la dreta i es torna a iniciar el cicle des de la selecció dels arxius del tipus de passada.

3- si la distància més curta és amb el punt inicial de la passada actual, compara si la distància amb el segon punt d'aquesta passada és inferior amb la distància al punt inicial.

3.1) Si la resposta és negativa, no fa res i es torna a iniciar el cicle des de la selecció dels arxius del tipus de passada. En aquest cas hi ha una variació amb el procediment esmentat. La subrutina encarregada de llegir els arxius de les coordenades i calcular els increments abans esmentats, funciona un de cada cinc cicles consecutius mentre duri aquesta opció. Donat els casos on es bloquejava el sistema durant el procés de disseny, l'autor del treball va creure que si s'alliberava al maquinari de realitzar uns càlculs dels quals es coneixien els resultats durant uns pocs cicles, es deixava més recursos a les altres tasques i així s'evitava la sobrecàrrega del sistema.

3.2) Si la resposta és positiva, hi ha dues possibilitats. Si la passada sí està disponible es comença a guiar. Però si la passada no està disponible l'acció és la mateixa que a 3.1. Si de totes maneres es realitza aquesta passada no es guiarà i el guiatge donarà errors al romandre bloquejat esperant una filera disponible. El guiatge es desbloquejarà al retornar al mateix costat de la parcel·la però seleccionant si està disponible la passada de retorn com la passada a treballar actual i guiant en conseqüència.

A la Figura A-66 la distància corresponent a la lletra "a" correspon a l'opció "1" del mòdul. La distància corresponent a la lletra "c" correspon a l'opció "2" del mòdul. La distància corresponent a la lletra "d" correspon a l'opció "3.1" del mòdul. La distància corresponent a la lletra "b" correspon a l'opció "3.2" del mòdul.

La primera operació que fa el guiatge és comprovar si s'ha arribat al final de la filera. Quan s'arriba al final de la filera no cal guiar i per tant s'atura abans de corregir la trajectòria. El criteri per a decidir si s'ha superat el límit de la passada es realitza fent una recta perpendicular a la recta ideal de referència en el punt final de la passada actual. Un cop es supera aquest límit es sobreentén que s'ha arribat a la capçalera de la fila i, per tant, s'està fora al lateral de la parcel·la. Donat aquest cas, s'atura el guiatge, s'ordena canviar l'estat de la passada actual i el tipus de la passada i es torna a iniciar el cicle des de la selecció dels arxius del tipus de passada. Donat el cas contrari, primer carrega el punt ideal actual o objectiu i l'anterior, captura la posició del tractor actual i recupera l'anterior posició. A continuació, i de manera paral·lela, realitza les tres accions següents (Figura A-65):

a- calcula la distància des de la posició actual fins al punt ideal actual i des de la posició actual fins al punt ideal anterior. Compara aquestes distàncies i si la primera de les dues és la inferior, emet l'ordre de carregar el següent punt ideal.

b- calcula la distància en l'eix d'abscisses des de la posició actual fins al punt ideal actual i des de la posició actual fins al punt ideal anterior. Compara les distàncies i si la primera de les dues és la inferior, emet l'ordre de carregar el següent punt ideal.

c- calcula l'angle de la recta definida pels punts Posició tractor actual i Posició Ideal actual, i l'angle de la recta trajectòria definida pels punts tractor anterior i tractor actual. La diferència entre ambdós punts

serà l'angle necessari a girar per a seguir la trajectòria ideal. Si l'angle és positiu es guiarà a l'esquerra i si és negatiu a la dreta.

A la Figura A-65 es mostra un esquema del principi de funcionament del guiatge. Es va incorporar la comparació de la distància sobre l'eix d'abscisses perquè es donava molt sovint el cas on el punt actual sobrepassava el punt ideal en aquest eix. Això provocava que durant un cicle el sentit de gir fos el contrari i amb un valor elevat. Per tant, si s'havia de girar a la dreta, durant un cicle es feia girar a l'esquerra al màxim i en el següent cicle es feia girar el que pertocava. Donant lloc a una correcció del gir molt brusc i totalment erroni.

Quan una o les dues ordres de carregar el següent punt ideal són certes, es carrega el següent punt ideal i es recalcula l'angle a girar abans de continuar. El següent pas és traduir l'angle a girar al codi de llums de les barres de llums. Hi ha dos tipus de barres, la barra de llums "normal" i la barra de llums "central". Respectivament, serveixen per a guiar amb gairebé tot el camp de visió frontal i per a guiar més acuradament en el rang de visió central on la barra normal no aporta prou informació (Figura B-16, Figura B-17 i Figura B-18).

A la Figura B-16 es mostra la barra de llums present a totes les pestanyes del programa a excepció de la de *Configuració*. A la pestanya *Trajecte Ideal* se'n troben dues, una "normal" i una que amplia la informació de les llums blanques. A la Figura B-17 es pot observar com s'amplia la informació per a corregir la trajectòria amb les dues barres. Únicament amb la barra normal no caldria modificar la trajectòria, però amb la barra central es pot seguir corregint la trajectòria. Això sí, cal tenir en compte que quan es gira utilitzant la barra central s'ha de ser molt més suau en els girs. Cal tenir en compte que només s'ha de fer cas a la barra central quan la barra normal està com a la imatge, dues de les 3 llums blanques enceses i el color verd ha d'estar apagat. A la Figura B-18 es mostra la correlació entre el color de la barra de llums i l'angle numèric. El color representa una desviació en la trajectòria equivalent al valor numèric representat a la Figura B-18. El sentit de gir dependrà del costat de la barra il·luminat.

Per últim, abans de finalitzar el cicle, es dona el valor del punt ideal per a poder-lo representar als gràfics i es comprova si s'ha polsat el botó virtual per a finalitzar l'ajut al guiatge. Si no està polsat, segueix guiant fins arribar al final de la passada. Quan el guiatge finalitza, s'apaguen les barres de guiatge, es restableixen els botons del guiatge i si es desitja sortir de l'aplicació, es pot aturar l'adquisició i a continuació sortir del programa.

### 5.1.2.c. Assaig de validació del sistema de guiatge

L'assaig es va realitzar a l'Estació Experimental de Lleida de l'IRTA, ubicada a Gimenells (Figura 5.4) amb coordenades UTM ED 50 aproximades 282789 m est, 4615109 m nord, al fus 31. La validació en fruiters es va realitzar a la parcel·la de la Figura 5.5 amb coordenades UTM ED 50 aproximades 282980 m est, 4615179 m nord. La validació en terra campa es va realitzar a la parcel·la de la Figura 5.6 amb coordenades UTM ED 50 aproximades 282874 m est, 4614932 m nord. Les coordenades s'han obtingut del web de l'*Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC).

Primer de tot es va situar l'estació base RTK de Leica representada a les figures amb el símbol  $\otimes$ . Les coordenades UTM ED 50 aproximades de la posició de l'estació base són 282928 m est, 4615192 m nord amb 31 de número de fus (ICC).

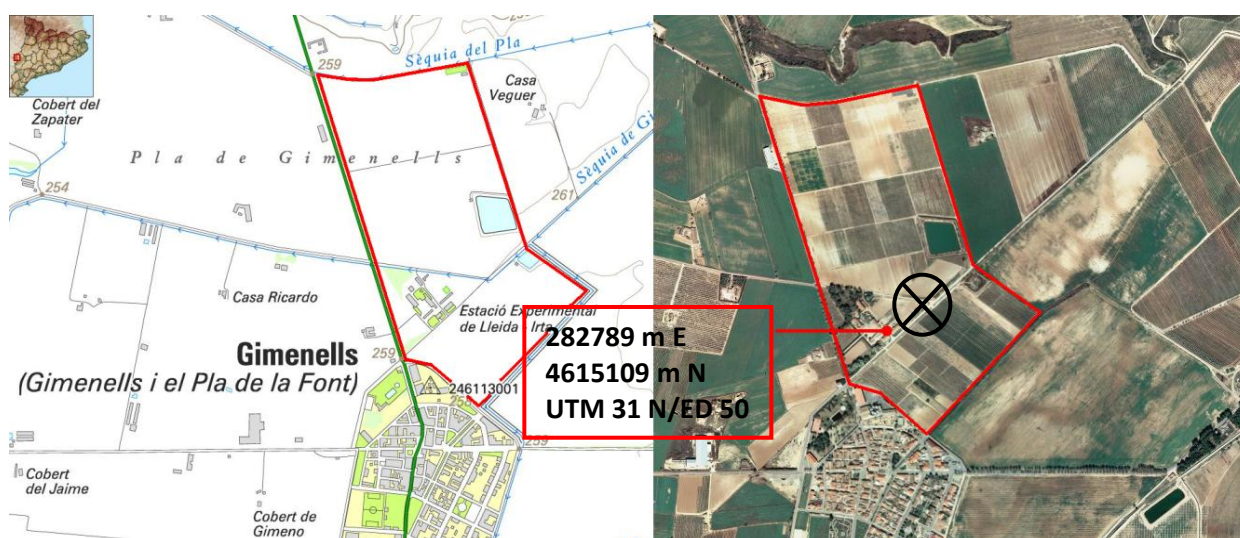


Figura 5.4: Situació de l'estació experimental de l'IRTA de Lleida ubicada a Gimenells.

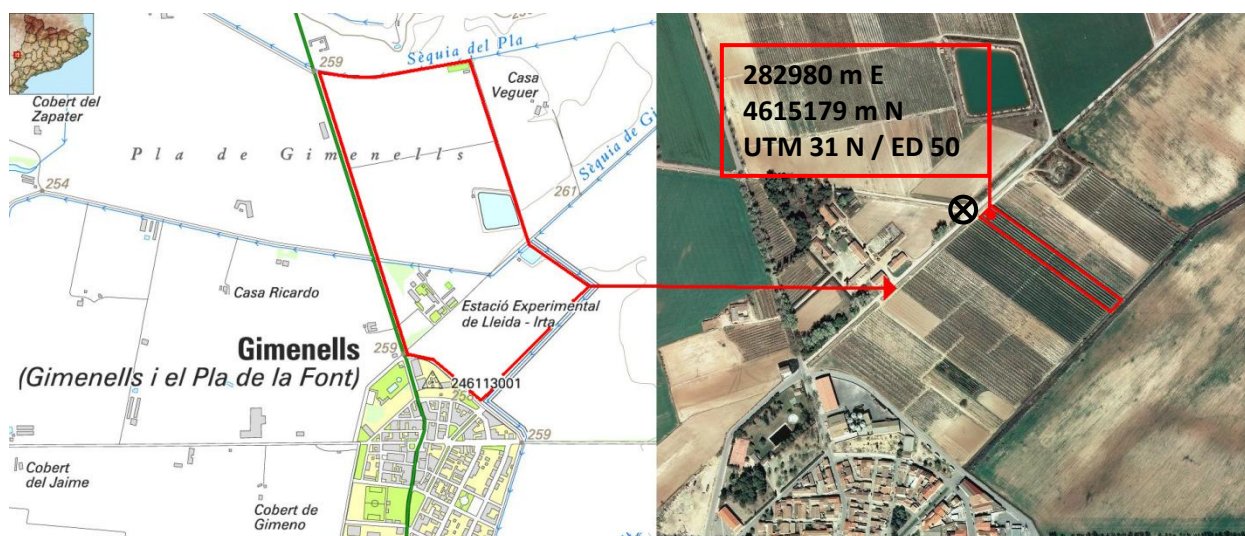


Figura 5.5: Situació de la parcel·la de fruiters on es va realitzar la validació de l'ajut al guiatge.



Figura 5.6: Situació de la parcel·la de terra campa on es va realitzar la validació de l'ajut al guiatge.

#### 5.1.2.c.i. Plantació frutera

Els arbres estaven nus com pertoca per l'època de l'any, i sense podar. La formació de la plantació és en eix central.

Primer es va mesurar amb la cinta mètrica el punt mitjà entre les capçades de les fileres 25 i 26. Els punts mitjos es van marcar clavant una estaca metàl·lica pintada amb un esprai fluorescent. A continuació es prengueren les coordenades de la posició de les estakes amb el receptor mòbil de Leica.

Tot seguit es van realitzar 4 tipus de passades amb 3 repeticions cadascuna. Primer es realitzà una repetició del guiatge manual sense mirar en cap moment a la pantalla, una de l'ajut al guiatge a 3 metres, una a 10 metres i una a 50 metres sense treure la vista de les dues barres de llums. Després es realitzaren les altres dues repeticions amb el mateix ordre.

#### 5.1.2.c.ii. Terra campa

La parcel·la estava recent llaurada sense seguir una pauta constant i per tant hi havia moltes irregularitats en el terreny.

Primer es van fixar dos punts mitjos d'una possible passada i es van marcar clavant una estaca metàl·lica pintada amb un esprai fluorescent. A continuació es van prendre les coordenades de la posició de les estakes amb el receptor mòbil de Leica.

Tot seguit es van realitzar 4 tipus de passades amb 3 repeticions cadascuna a excepció de la passada amb l'ajut al guiatge a 3 metres que es va realitzar una de sola al ser molt inestable. Primer es realitzà una repetició del guiatge manual sense mirar en cap moment a la pantalla tàctil, una de l'ajut al guiatge a 3 metres, una a 10 metres i una a 50 metres sense treure la vista de les dues barres de llums. Després es realitzaren les altres dues repeticions amb el mateix ordre a excepció de la de l'ajut al guiatge de 3 metres. En aquesta parcel·la no calgué girs d'emergència per l'absència d'obstacles en la zona llaurada.



## 5.1.2.d. Anàlisi de les dades

Es van filtrar les dades per tal que representessin estrictament les coordenades de la trajectòria del tractor des del punt inicial al punt final de cada passada i repetició. També es representà la recta central de la passada o recta ideal per a visualitzar les desviacions de la trajectòria del tractor respecte la trajectòria ideal (Figura 5.7). La fiabilitat del guiatge es valora a partir de l'anàlisi de les diferències instantànies entre la posició real del tractor i la posició ideal sobre la trajectòria generada automàticament. Com més petita és aquesta diferència millor és el guiatge. Per a poder comparar les repeticions dels diferents sistemes de guiatge, s'ha calculat el valor absolut de totes les diferències instantànies de la posició per a totes les repeticions. A continuació s'ha fet una prova d'anàlisi de la variància d'un factor (ANOVA) partint de la hipòtesi nul·la que les mitjanes de les repeticions són iguals. Donat que la freqüència de mostratge per a cada repetició era exactament igual i que el temps de mostratge era pràcticament el mateix, les mostres tenen aproximadament el mateix nombre d'observacions. Això fa que l'anàlisi de la variància sigui suficientment robusta enfront de violacions de la normalitat o de l'homoscedasticitat com per a que no calgués realitzar les comprovacions pertinents. En cas de rebutjar la hipòtesi nul·la, s'ha procedit a aplicar una prova de Tukey-Kramer per tal de separar les mitjanes. Es va escollir aquesta prova per ser àmpliament utilitzada en la bibliografia i per no ser una prova ni massa estricta ni massa conservadora a l'hora de realitzar separacions.

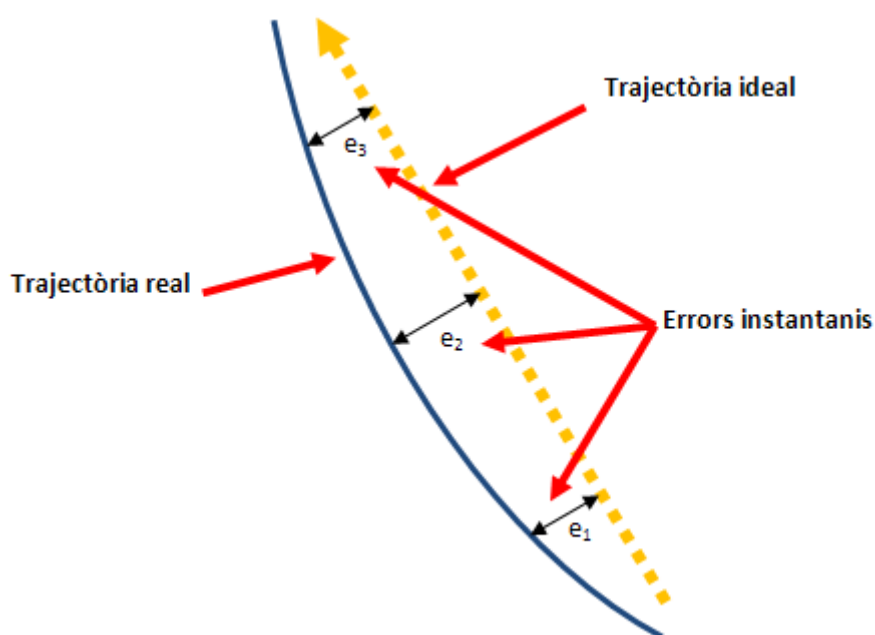


Figura 5.7: Representació esquemàtica de les desviacions en la trajectòria real respecte a la ideal.

## 5.2. Resultats

### 5.2.1. Caracterització del receptor

Es recorda que es va enregistrar 5 tipus de correcció DGPS per cada punt i dia, dos punts i dos dies. Això suma un total de 20 registres amb 300 posicions mesurades cadascun (veure annex digital). Per evitar el malbaratament de recursos es mostrarà únicament en paper el resum dels resultats, així com els necessaris per a la seva comprensió.

Les mitjanes de les coordenades X i Y obtingudes per a cada tipus de senyal es mostren a la Taula 5.1 i el resultat dels estadístics es mostren a la Taula 5.2. El tipus de correcció es pot distingir pel color de fons en aquestes taules. La Taula 5.2 mostra en metres els radis estadístics 2DRMS i CEP. El radi ens indica la probabilitat (95% o 50%, respectivament) que el valor de la posició estigui dins de la circumferència amb centre a la mitjana de la posició donada pel tipus de correcció avaluat. Els valors d'aquestes taules es van emprar per a construir la Figura 5.8, Figura 5.19 i Figura 5.20.

Utilitzant la Equació 5.4, s'ha obtingut el gràfic de la Figura 5.8 i la Taula 5.2 amb les dades del CEP i del 2DRMS amb una precisió estadística de l'encert del 50% i del 95% respectivament.

Taula 5.1: Mitjana de les coordenades de la posició mesurada.

	Mitjana	
	X	Y
NC_A_Mitjana	299850,744	4611638,534
CE_A_Mitjana	299851,175	4611638,527
CA_A_Mitjana	299850,475	4611637,667
CV_A_Mitjana	299850,456	4611637,661
CO_A_Mitjana	299850,875	4611638,046
NC_B_Mitjana	299849,779	4611638,703
CE_B_Mitjana	299850,103	4611638,954
CA_B_Mitjana	299849,553	4611638,112
CV_B_Mitjana	299849,560	4611638,054
CO_B_Mitjana	299849,991	4611638,462

On X i Y són les coordenades del punt mitjà de les posicions mesurades de cada tipus de correcció, "NC\_A\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt A sense correcció diferencial, "CE\_A\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt A per la correcció diferencial EGNOS, "CA\_A\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt A per la correcció diferencial agrònoms de l'IRW, "CV\_A\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt A per la correcció diferencial virtual de l'IRW, "CO\_A\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt A per la correcció diferencial Omnistar, "NC\_B\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt B sense correcció diferencial, "CE\_B\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt B per la correcció diferencial EGNOS, "CA\_B\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt B per la correcció diferencial agrònoms de l'IRW, "CV\_B\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt B per la correcció diferencial virtual de l'IRW i "CO\_B\_Mitjana" és la mitjana de la posició mesurada al punt B per la correcció diferencial Omnistar.

Taula 5.2: Valors de 2DRMS i CEP

	2DRMS	CEP
NC_A	1,610	0,671
NC_B	0,983	0,410
CE_A	0,677	0,282
CE_B	0,718	0,299
CA_A	0,180	0,075
CA_B	0,113	0,047
CV_A	0,201	0,084
CV_B	0,172	0,072
CO_A	0,344	0,143
CO_B	0,321	0,134

On 2DRMS és el radi estadístic amb una probabilitat d'encert del 95%, CEP és el radi estadístic amb una probabilitat d'encert del 50%, "NC\_A" correspon a la mesura sense correcció diferencial al punt A i "NC\_B" al punt B, "CE\_A" correspon a la mesura de la correcció diferencial EGNOS al punt A i "CE\_B" al punt B, "CA\_A" correspon a la mesura de la correcció diferencial agrònoms de l'IRW al punt A i "CA\_B" al punt B, "CV\_A" correspon a la mesura de la correcció diferencial virtual de l'IRW al punt A i "CV\_B" al punt B i "CO\_A" correspon a la mesura de la correcció diferencial Omnistar al punt A i "CO\_B" al punt B.

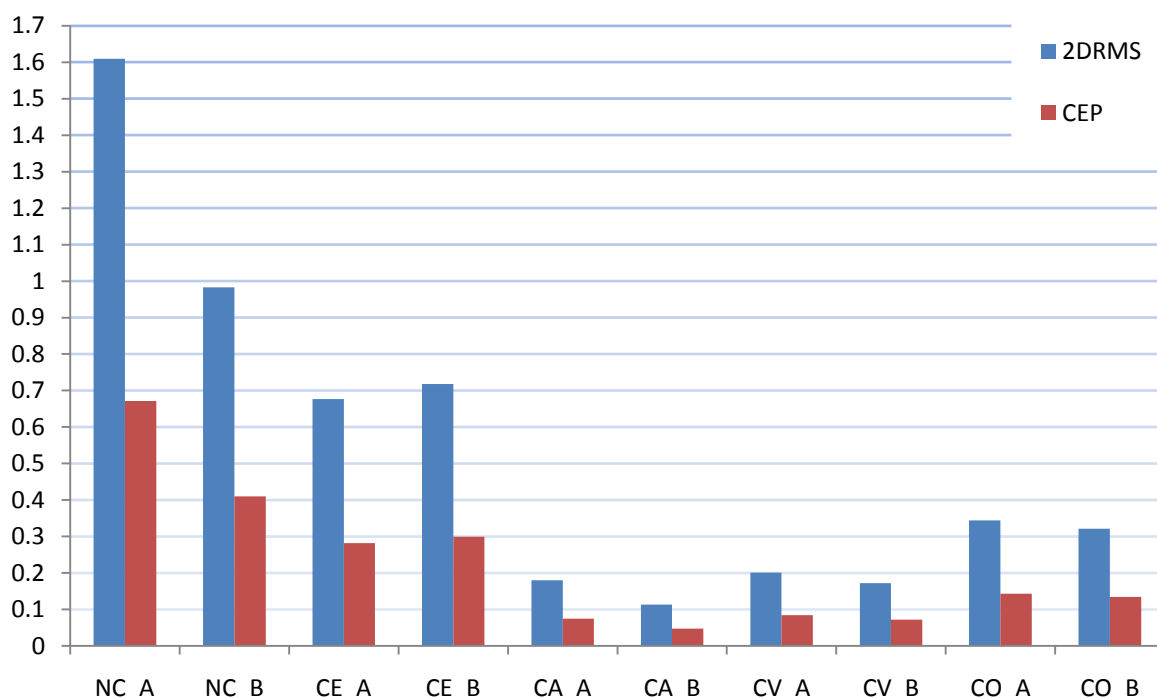


Figura 5.8: Gràfic de barres representant en metres el radi estadístic 2DRMS i CEP seguint l'ordre d'enumeració del tipus de correcció.



Primerament es mostren les posicions mesurades pel sistema en funció de la correcció i la circumferència de posició probable amb radi 2DRMS (Posició A: Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11, Figura 5.12 i Figura 5.13 i posició B: Figura 5.14, Figura 5.15, Figura 5.16, Figura 5.17 i Figura 5.18). I després es mostra la visió global del resultat obtingut amb el radi estadístic 2DRMS i CEP (Figura 5.19 i Figura 5.20). Cada sistema de correcció té 4 repeticions, 2 repeticions corresponents al dia 26/06/2008 i 2 repeticions corresponents al dia 03/07/2008, ambdós dies separats una setmana.

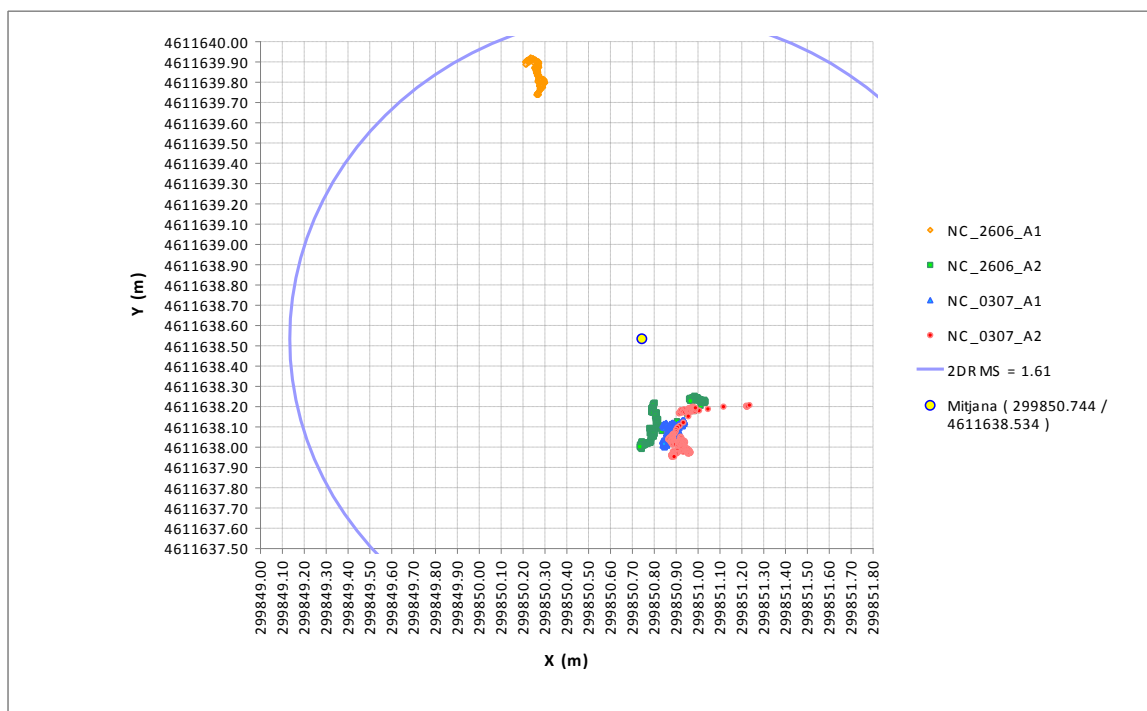


Figura 5.9: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A sense correcció diferencial.

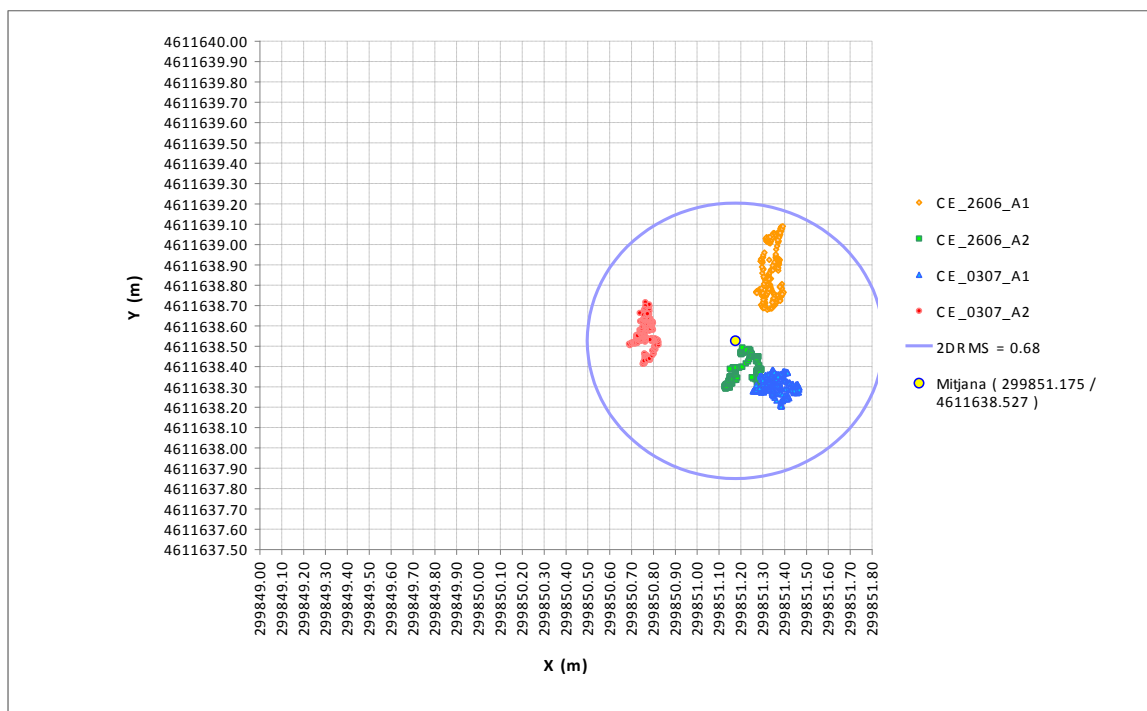


Figura 5.10: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial EGNOS.

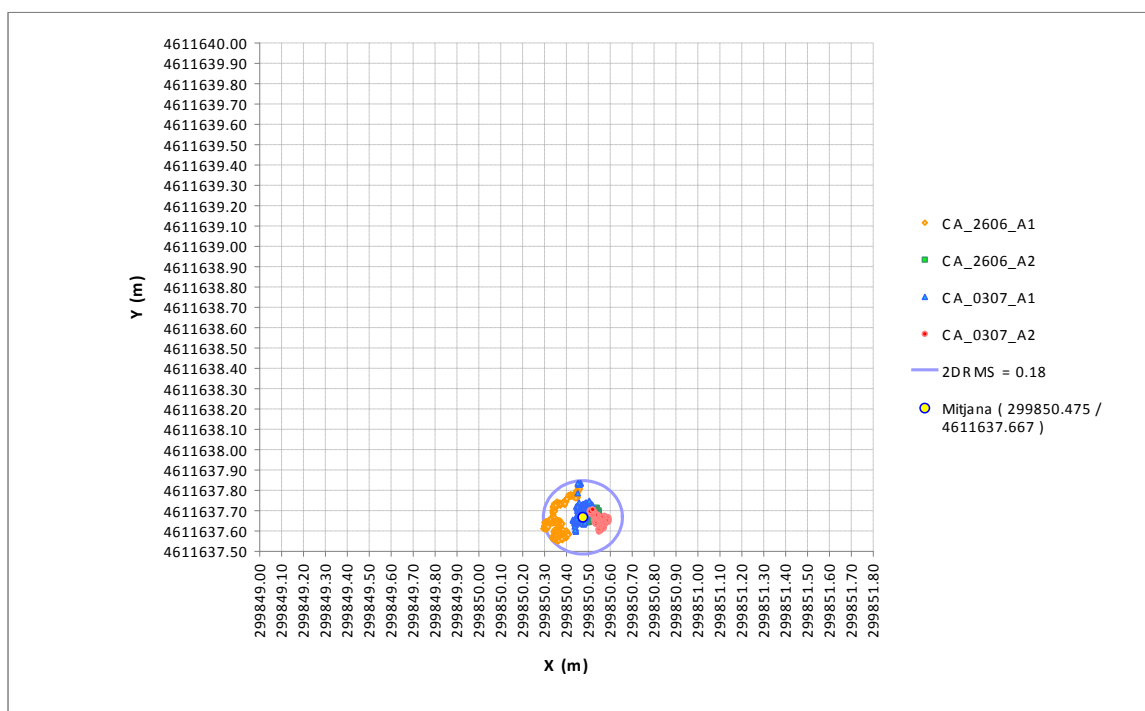


Figura 5.11: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial agrònoms de l'IRW.

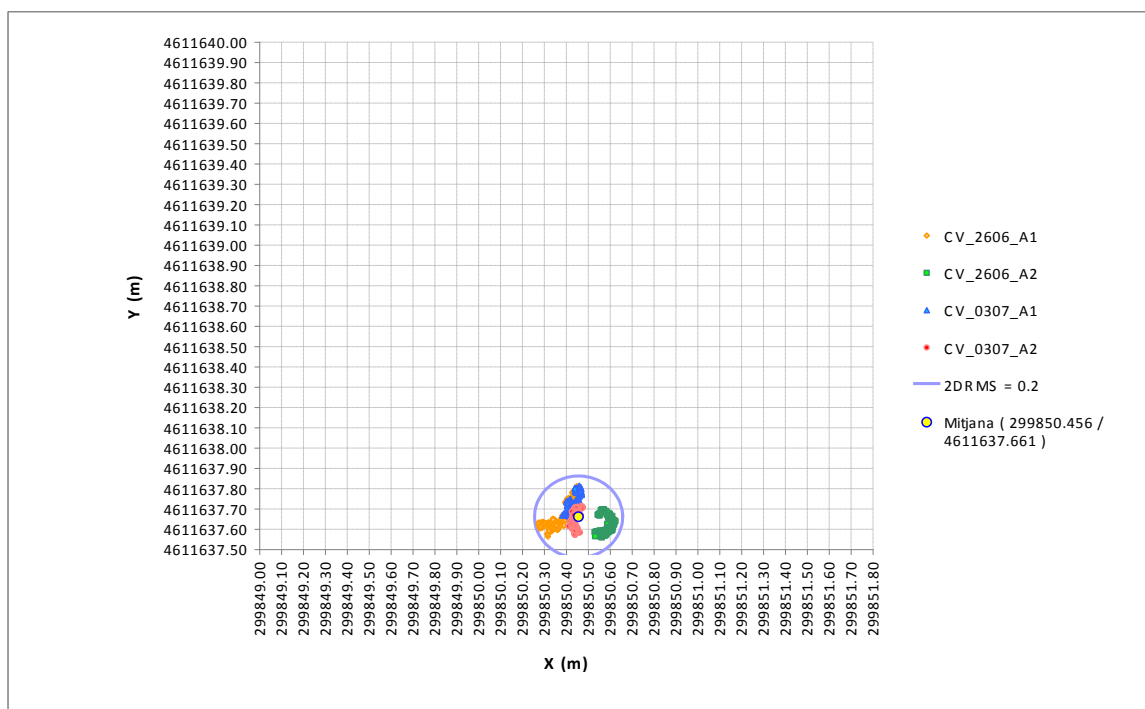


Figura 5.12: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial virtual de l'IRW.

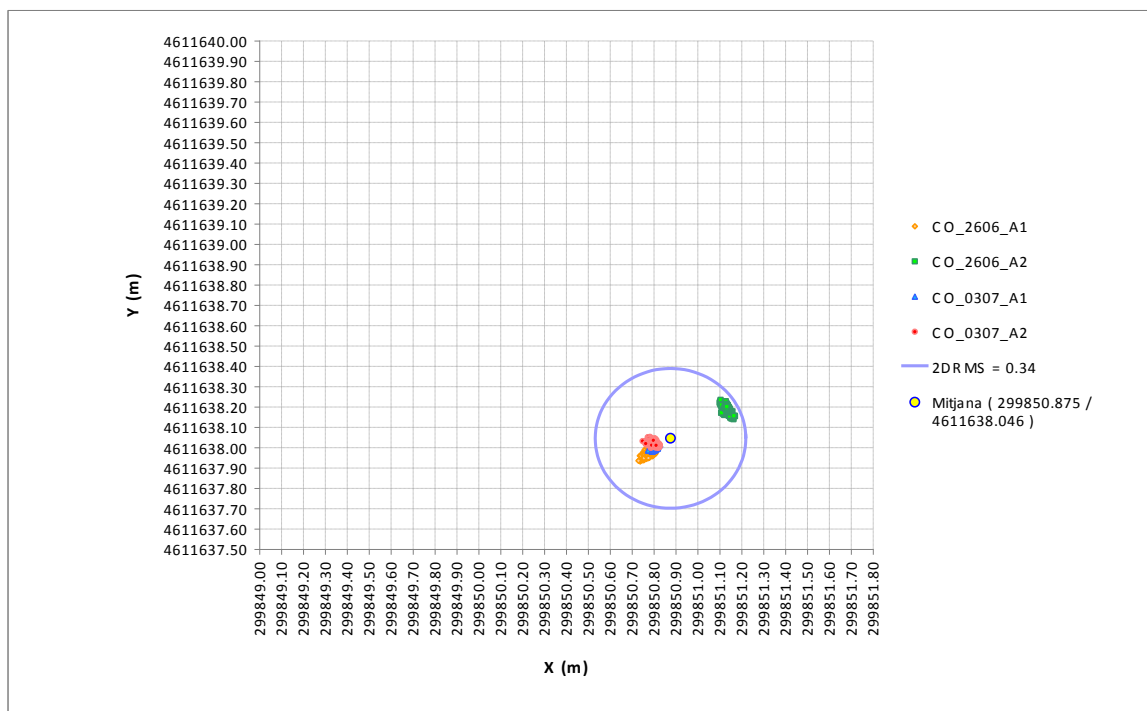


Figura 5.13: Gràfic de les posicions mesurades en el punt A amb la correcció diferencial Omnistar.

A la Figura 5.9 i Figura 5.13 es pot observar un salt en la posició que hi va haver en una de les mesures i la dispersió global que va provocar en la repetibilitat de la mesura. A la Figura 5.10, Figura 5.11 i Figura 5.12 es pot observar una bona agrupació de les mesures sense cap salt en la posició.

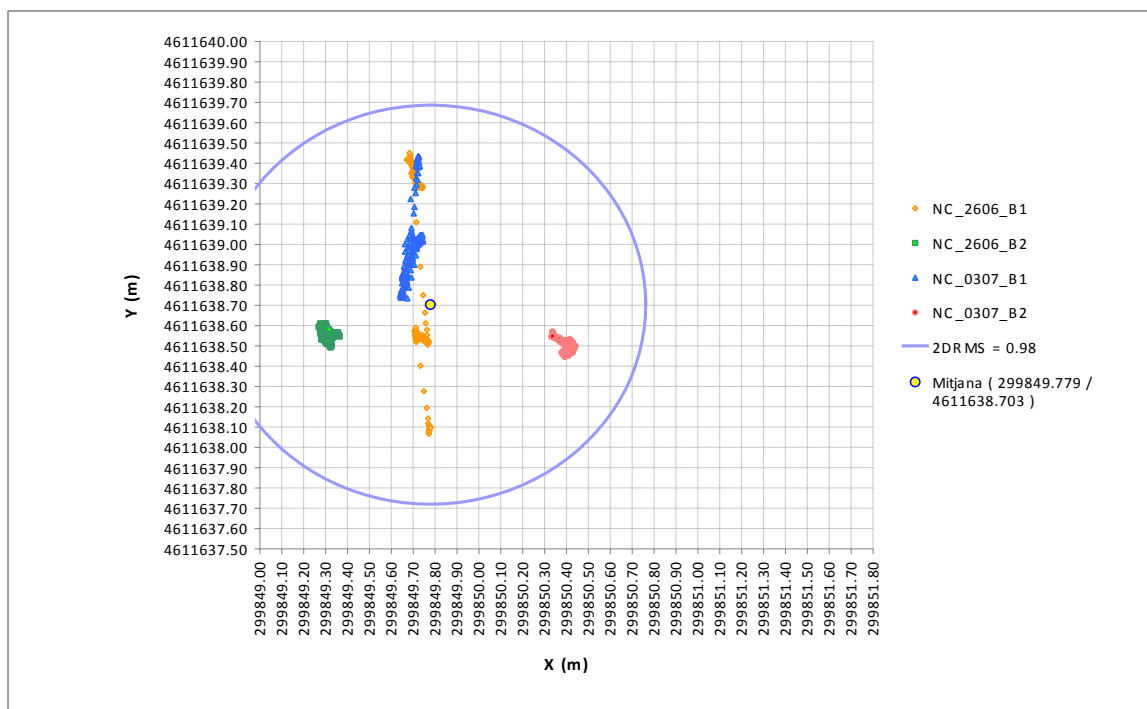


Figura 5.14: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B sense correcció diferencial.

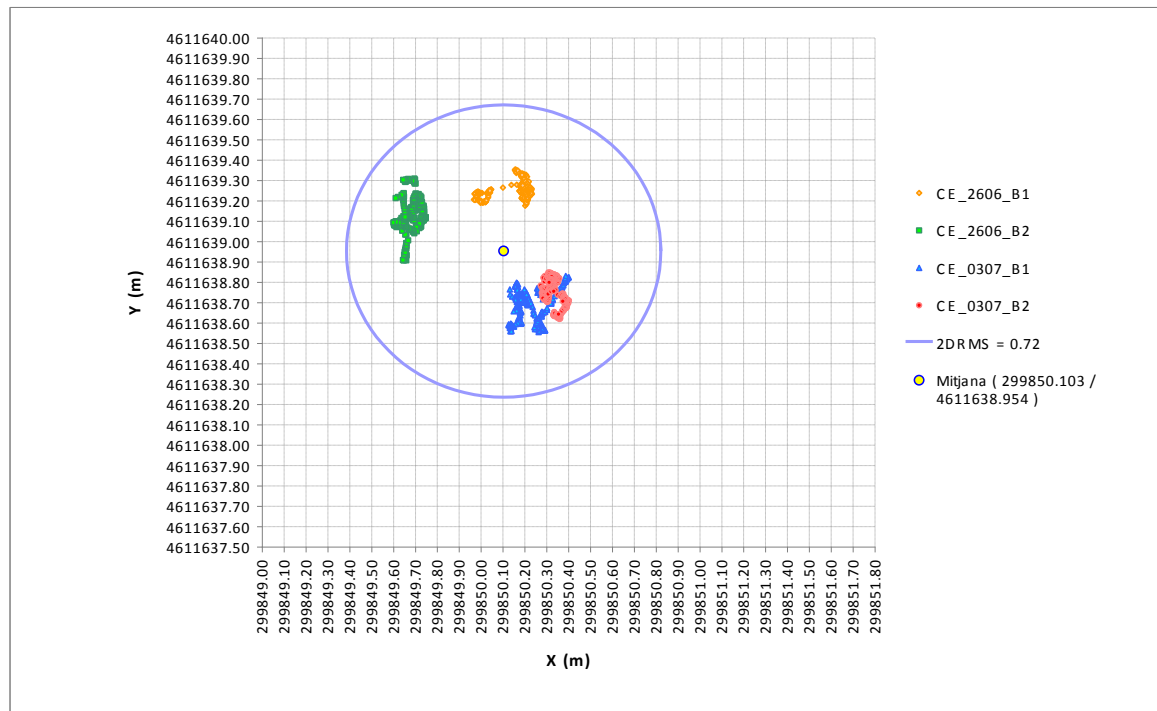


Figura 5.15: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial EGNOS.

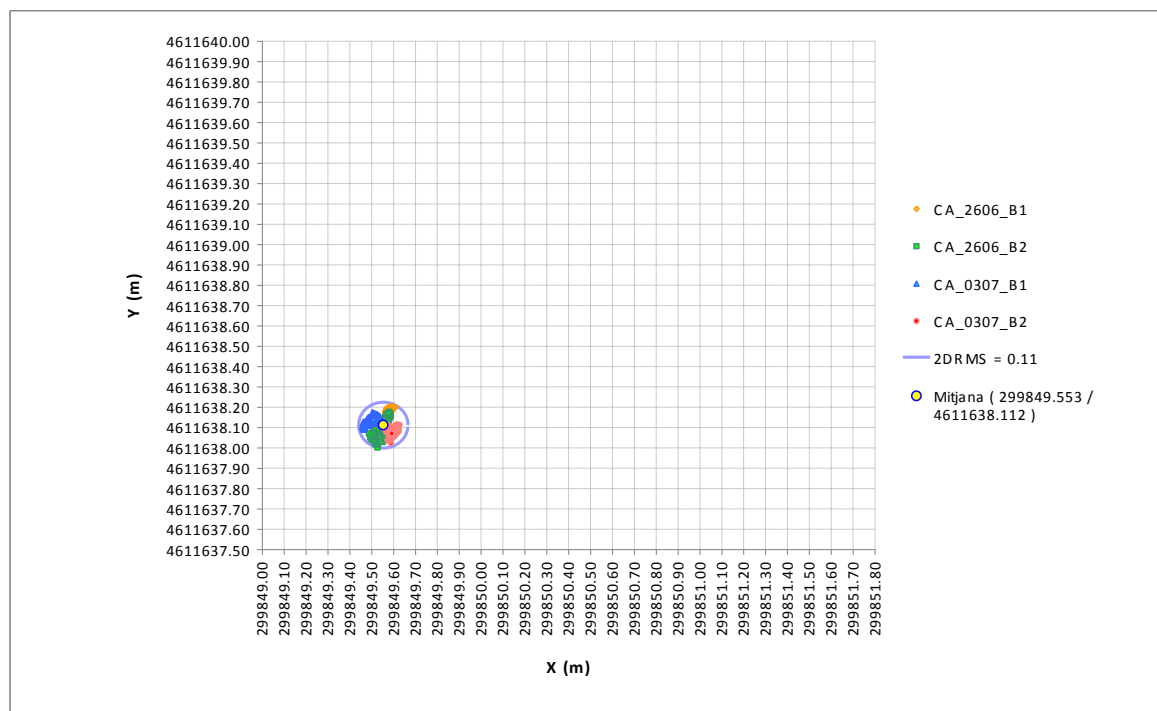


Figura 5.16: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial agrònoms de l'IRW.

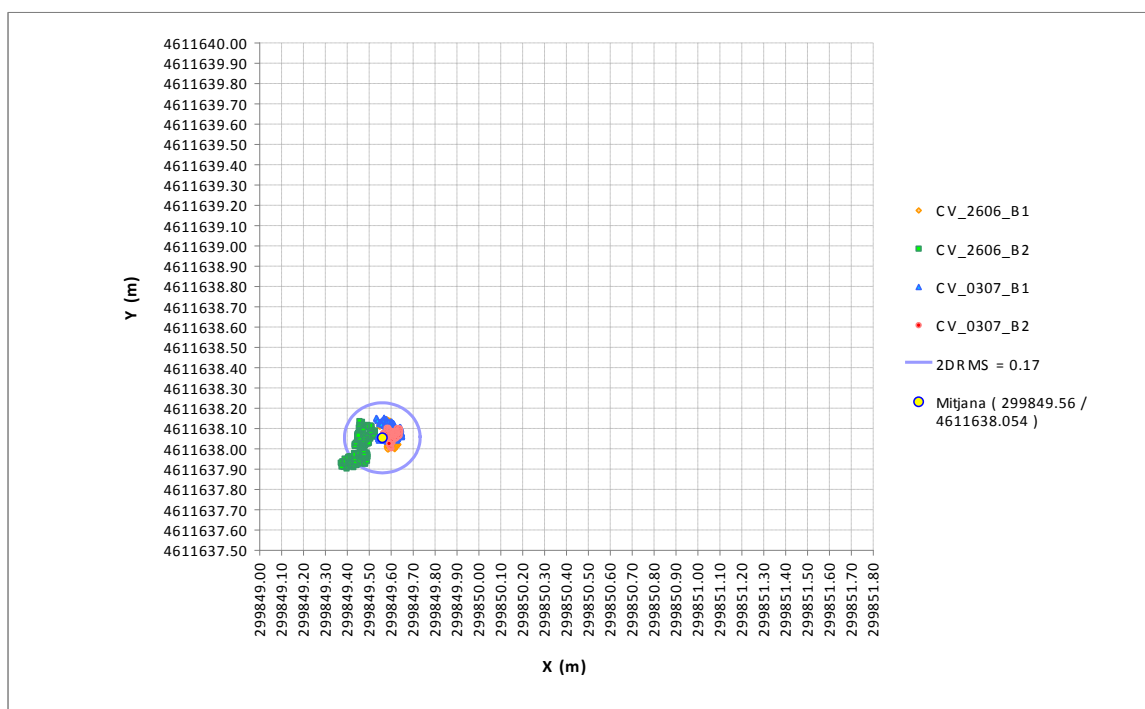


Figura 5.17: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial virtual de l'IRW.

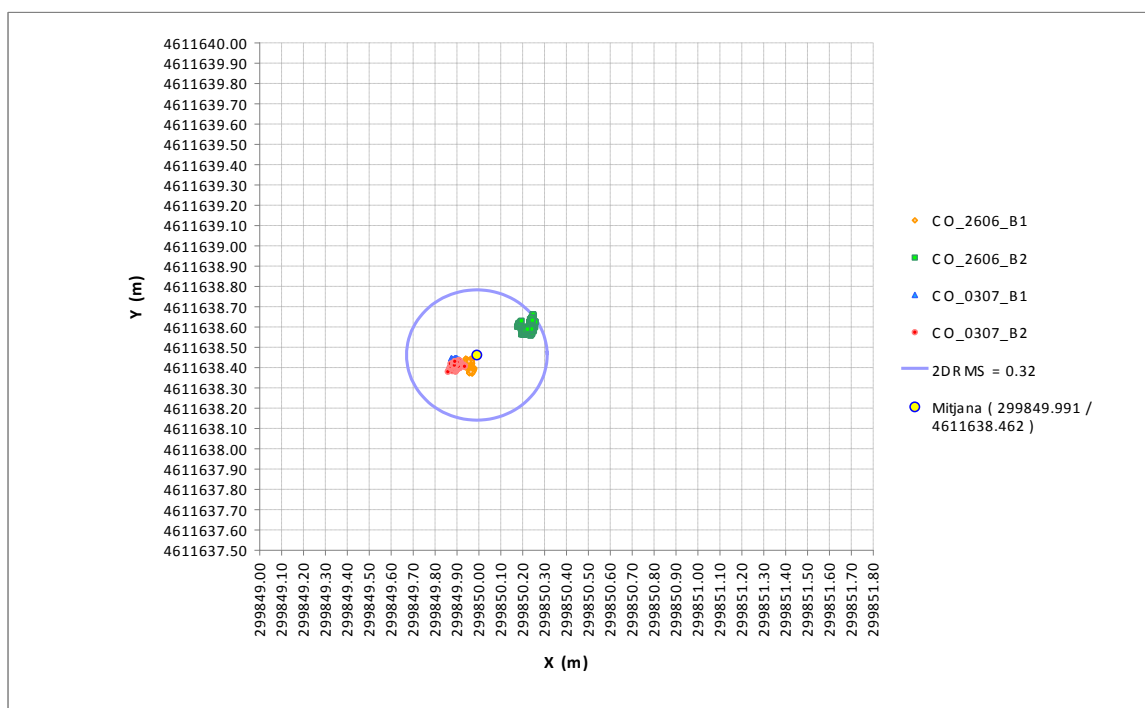


Figura 5.18: Gràfic de les posicions mesurades en el punt B amb la correcció diferencial Omnistar.

A la Figura 5.14 es pot observar una bona distribució de les mesures. Però tot i estar l'antena posicionada de manera totalment estàtica durant la mesura de la posició, hi ha dues d'aquestes mesures de la Figura 5.14 que poden donar a entendre que l'antena estava en moviment perquè els petits salts observats es poden interpretar com a moviment quan no és cert. A la Figura 5.15, Figura 5.16

i Figura 5.17 es pot observar una bona agrupació de les mesures sense cap salt significatiu en la posició. A la Figura 5.18 es pot observar un salt en la posició que hi va haver en una de les mesures i la dispersió global que va provocar en la repetibilitat de la mesura.

A continuació es mostren dos gràfics (Figura 5.19 i Figura 5.20) on es mostra una visió global del resultat de totes les mesures de les posicions A i B. Amb la posició mitjana de cada tipus de correcció i el radi de probabilitat d'encert (2DRMS a la Figura 5.19 mentre que a la Figura 5.20 el 2DRMS i el CEP) és suficient per a representar els resultats globals.

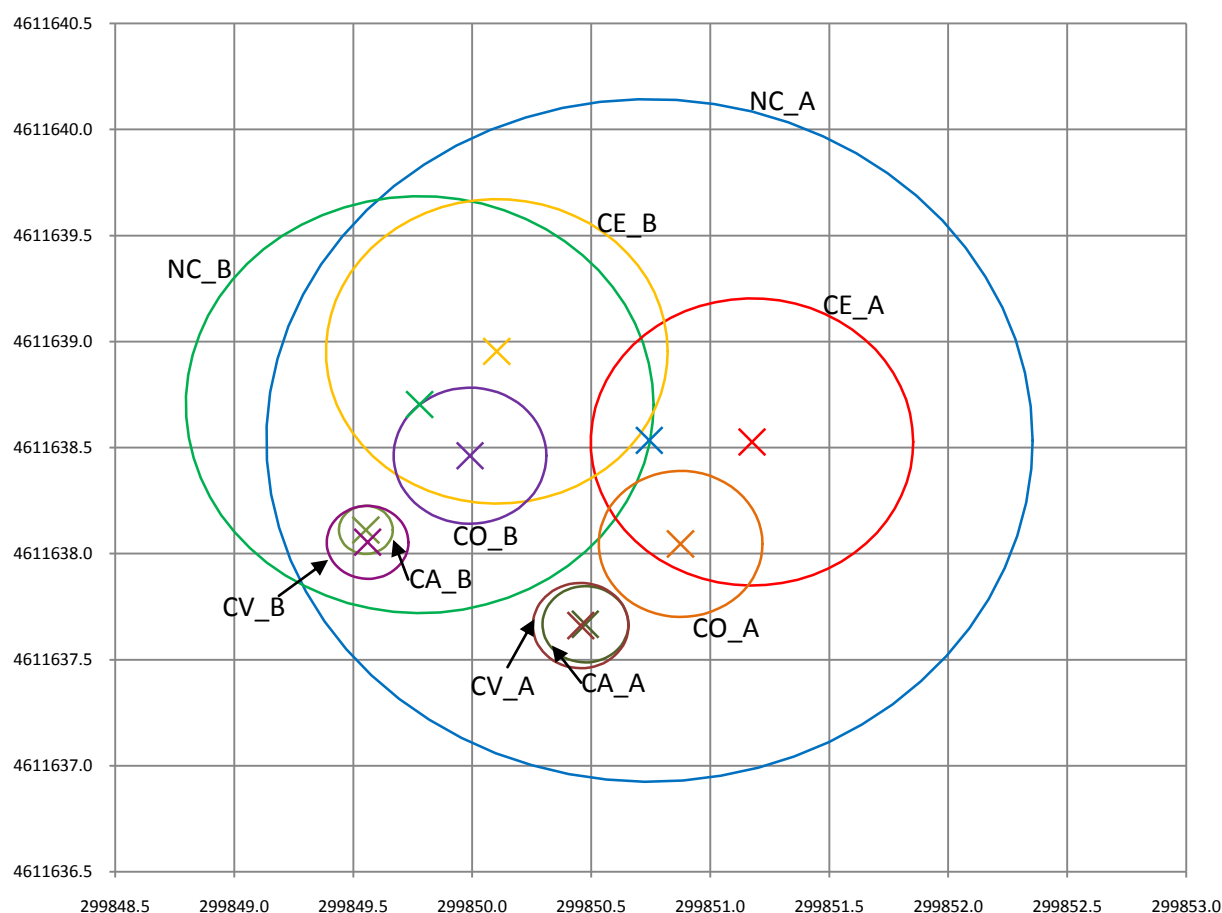


Figura 5.19: Gràfic del resultat de totes les mesures amb els cercles 2DRMS i la mitjana de la posició de cada correcció DGPS d'ambdós punts.

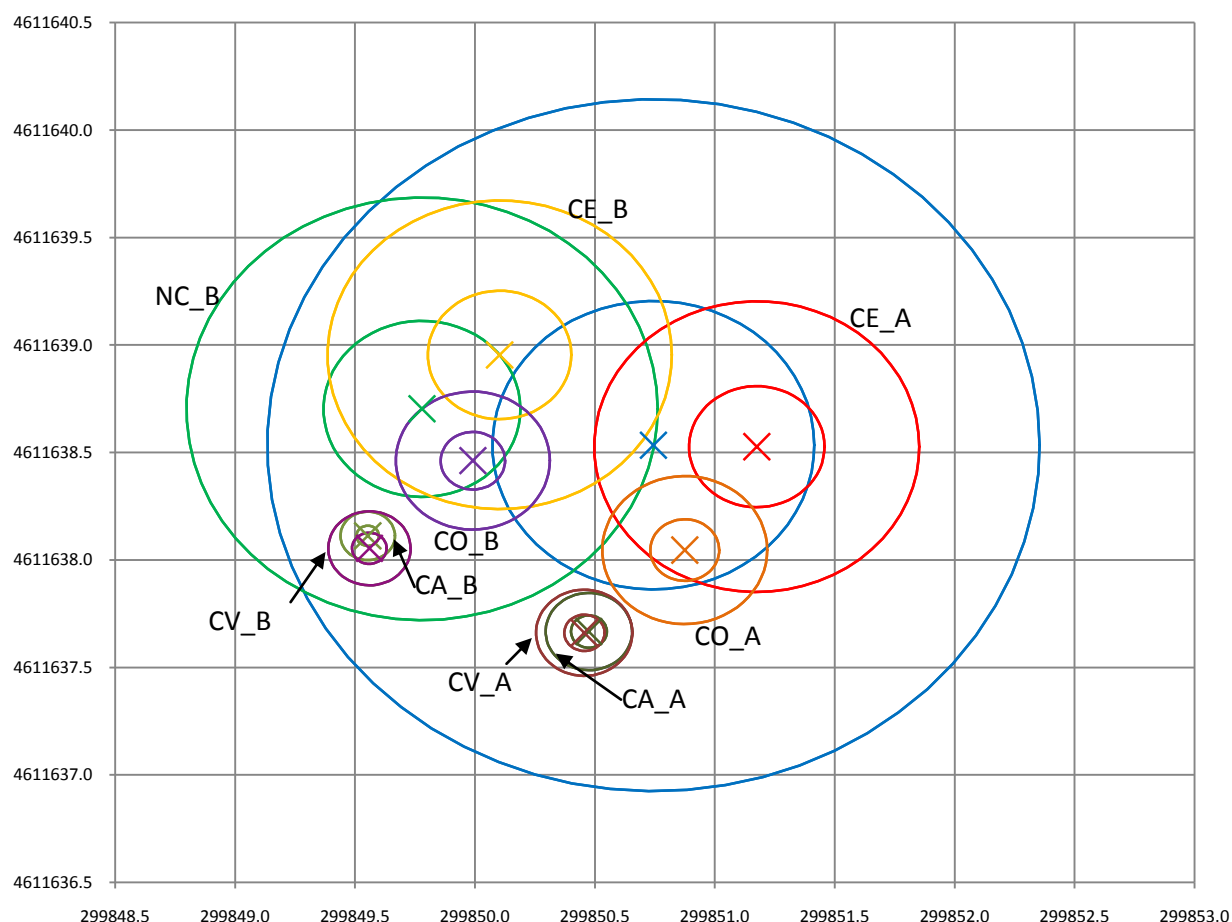


Figura 5.20: Gràfic del resultat de totes les mesures amb els cercles 2DRMS i CEP i la mitjana de la posició de cada correcció DGPS d'ambdós punts.

En aquests gràfics es pot observar la diferència de precisió que hi ha entre les diferents correccions, però no podem saber amb exactitud la posició real de la posició assajada.

Tanmateix, ens interessa més la repetibilitat de les mesures que la posició real. La repetibilitat (capacitat del receptor a mantenir el valor d'una posició estàtica) porta part de l'error de la precisió (error total) comés per l'aparell a l'hora de determinar la posició relativa donada. Amb la repetibilitat es pot estimar la precisió del senyal i per tant la seva incertesa. A menys repetibilitat, menys precisió i més incertesa, és a dir, circumferències amb un radi més gran.

No tenim necessitat de saber les posicions absolutes quan anem al camp. Mentre coneguem la precisió del senyal amb el que treballem i si partim d'un punt conegut, absolut o relatiu, podem fer la resta.

## 5.2.2. Sistema de guiatge

### 5.2.2.a. Plantacions fruiteres

Els resultats de la prova s'han representat de dues maneres. Una representació sobre el pla on es representen les mesures de la posició del tractor de cada correcció diferencial i la recta central de la passada que representa la recta ideal de referència (Figura 5.21, Figura 5.23, Figura 5.25, Figura 5.27, Figura 5.29, Figura 5.31, Figura 5.33, Figura 5.35, Figura 5.37, Figura 5.39, Figura 5.41, Figura 5.43 i Figura 5.45). El sentit de la marxa en les representacions és de dalt a baix i d'esquerra a dreta de la recta que es visualitza. El primer punt observat és el punt que dista 3 metres de l'inici. A la segona, s'ha representat en un histograma absolut la freqüència amb la que es repeteixen els desplaçaments en metres de la posició mesurada del tractor en relació a la posició central de la passada (Figura 5.22, Figura 5.24, Figura 5.26, Figura 5.28, Figura 5.30, Figura 5.32, Figura 5.34, Figura 5.36, Figura 5.38, Figura 5.40, Figura 5.42, Figura 5.44 i Figura 5.46). Les dades d'entrada dels histogrames són la distància més curta de la posició respecte la recta ideal de referència. Donat el sentit de la marxa, quan la distància és positiva el tractor es desvia a la dreta i quan la distància és negativa a l'esquerra.

Anàlisi de la repetibilitat del sistema de guiatge:

El resultat de les passades control es mostra a continuació:



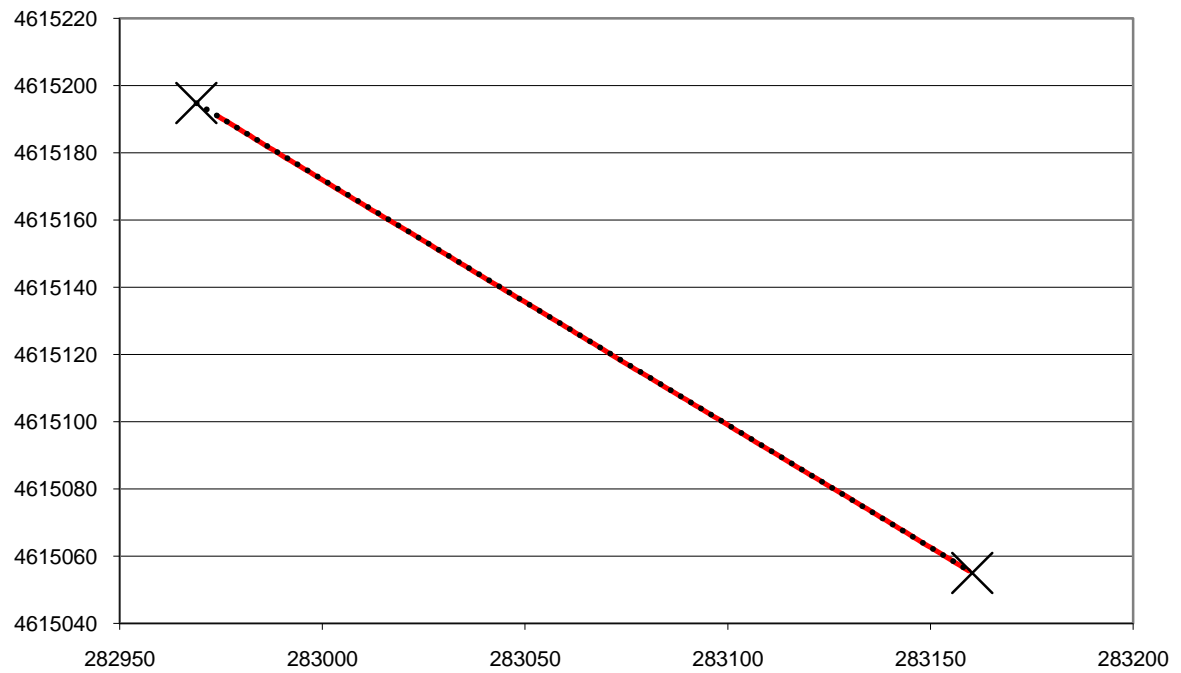


Figura 5.21: Gràfic representant la primera passada control en fruiters (15122009\_RTK\_2PCA).

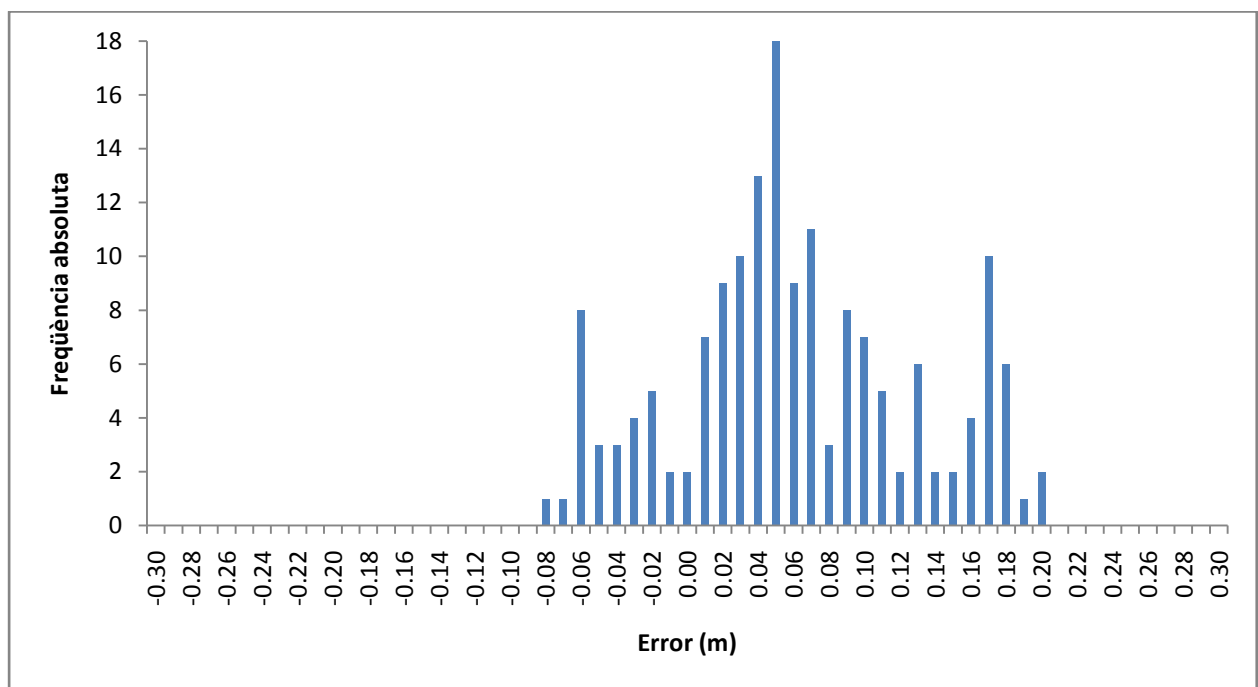


Figura 5.22: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada control en fruiters (15122009\_RTK\_2PCA).

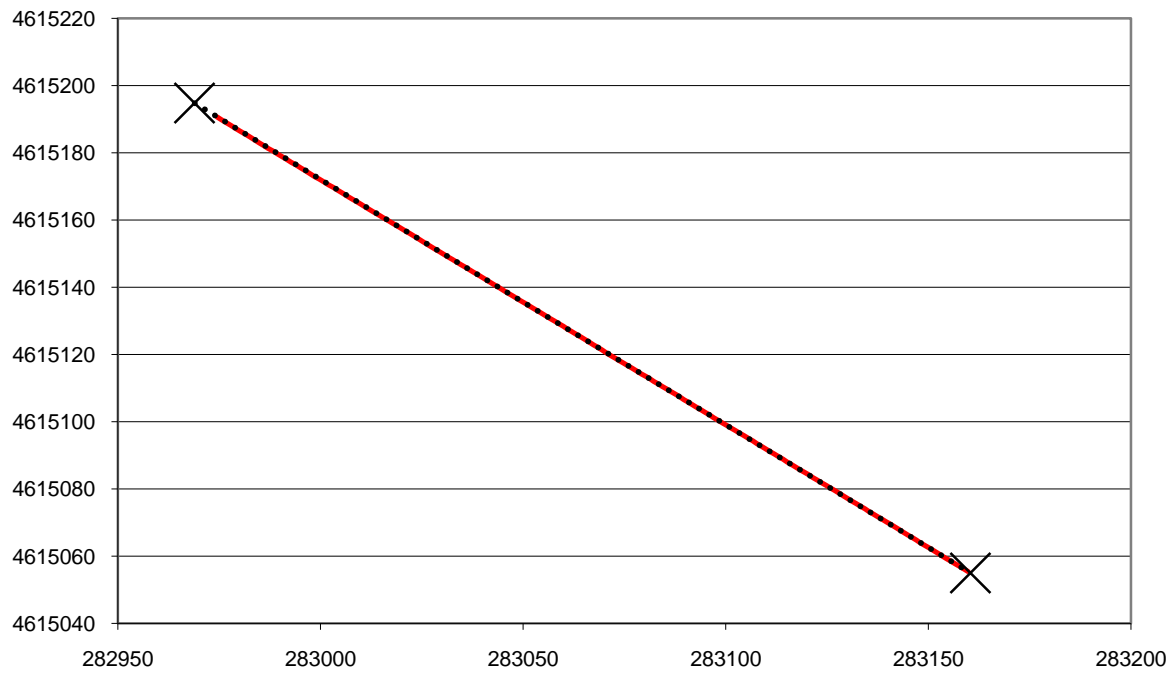


Figura 5.23: Gràfic representant la segona passada control en fruiters (15122009\_RTK\_2PCB).

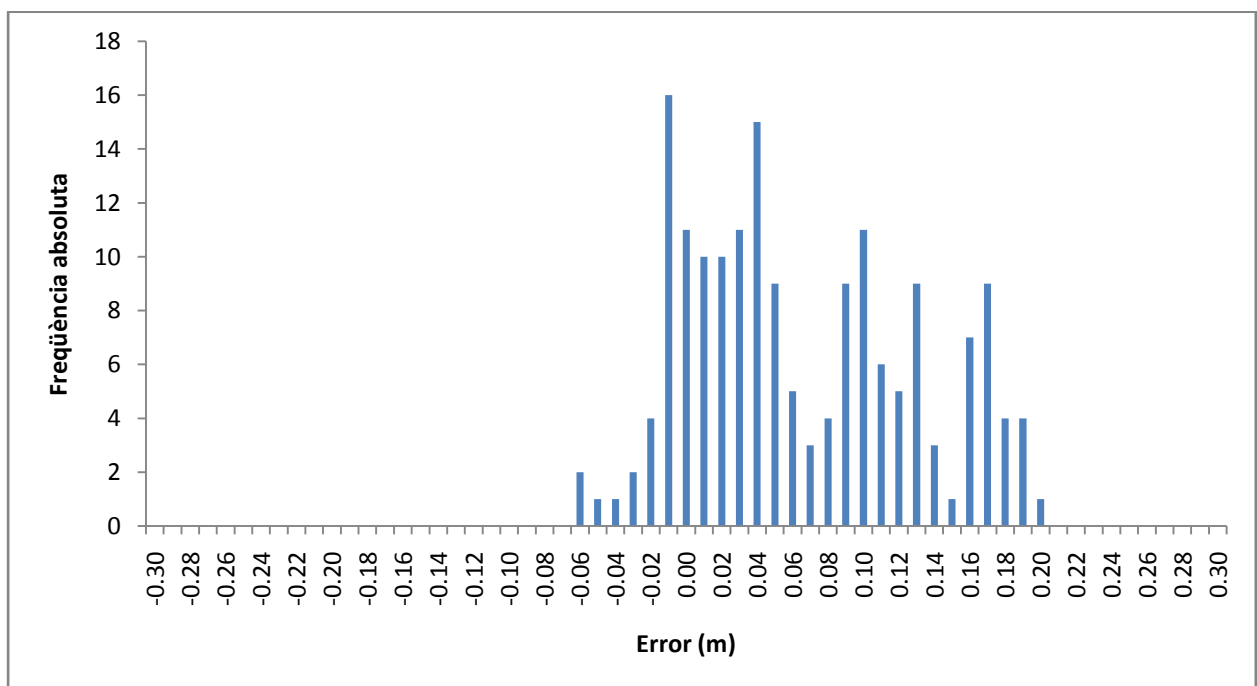


Figura 5.24: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada control en fruiters (15122009\_RTK\_2PCB).

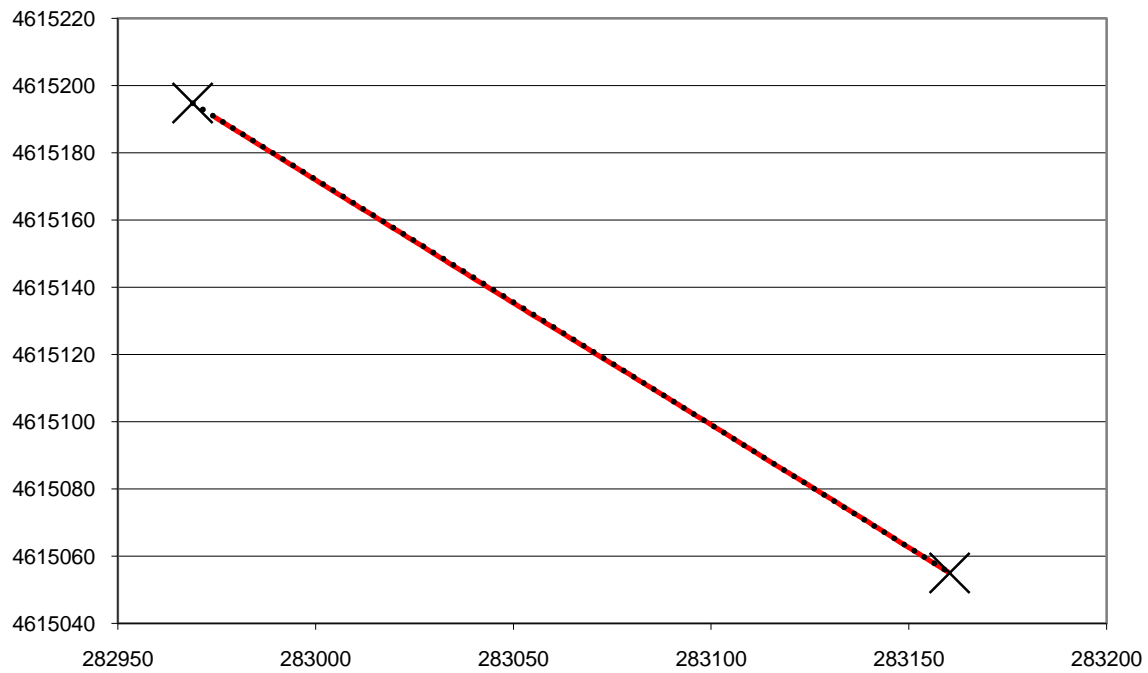


Figura 5.25: Gràfic representant la tercera passada control en fruiters (15122009\_RTK\_2PCC).

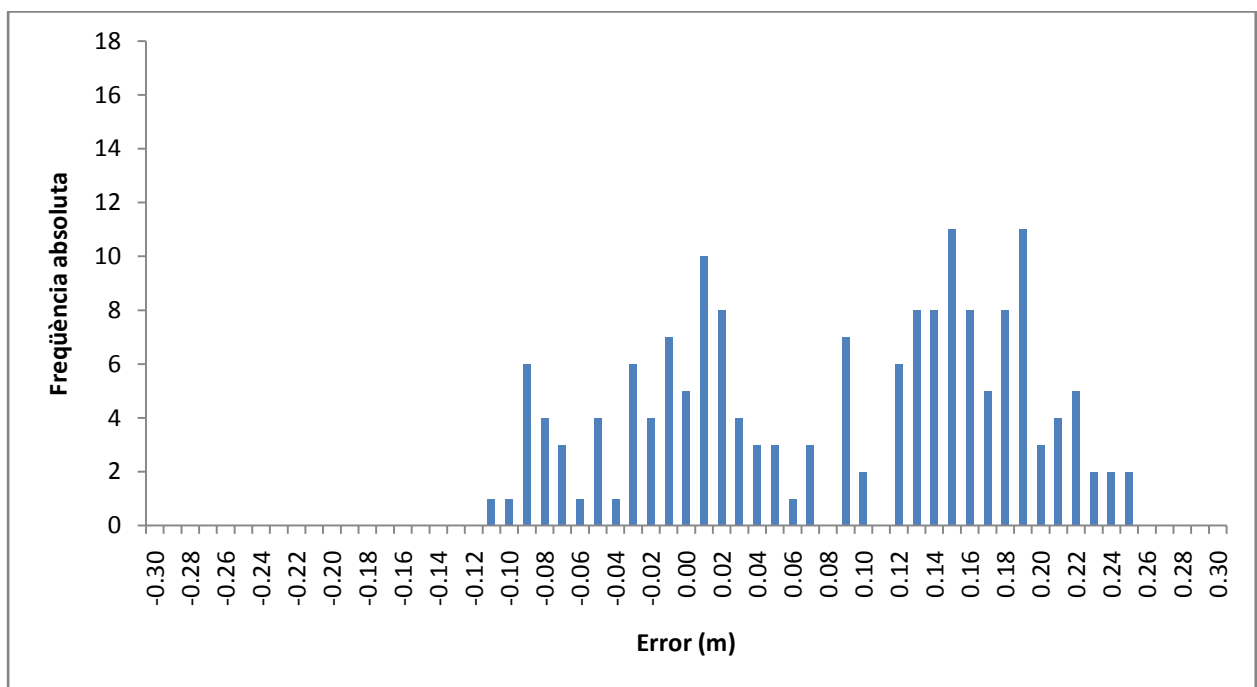


Figura 5.26: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada control en fruiters (15122009\_RTK\_2PCC).

## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.3: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2PCA	164	11,668	0,071 b	0,0026
15122009_RTK_2PCB	173	11,764	0,068 b	0,0031
15122009_RTK_2PCC	167	17,370	0,104 a	0,0049

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.4: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	0,134	2	0,067	18,886	1,2375E-08	3,014
Dins dels grups	1,772	501	0,004			
Total	1,905	503				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica i la probabilitat és menor que el nivell de significació. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Això pot ser degut a que el tractorista no té cap referència de la trajectòria ideal a seguir. Donant lloc a un guiat basat en referències visuals i a errors en el càlcul de la posició relativa a la passada ideal segons el criteri del pilot. Aquests errors es poden atribuir a que no tots els arbres tenen la mateixa amplada i a sots en el camí que alteren la percepció del centre a seguir.

Les passades A i B són equivalents però la passada C és significativament diferent a les altres. Donat que la mitjana de la passada C és major, podem dir que la passada 2PCC ha estat menys precisa que les altres dues. Aquesta repetició pertany a l'últim bloc de les repeticions en plantacions fruiteres. Per tant, la monotonia de la passada juntament amb la fatiga del tractorista podrien haver influït en aquest decrement de la precisió.

Es pot dir que el guiatge a ull va perdent precisió si el tractorista no realitza els descansos adequats.

Es va constatar que la filera d'arbres estava menys podada del cantó esquerra que del dret. Aquesta situació podria haver afectat la percepció visual del tractorista ja que la tendència de la trajectòria és desviar-se a la dreta.

El resultat de les passades amb l'ajut al guiatge a 3 metres vista es mostra a continuació:

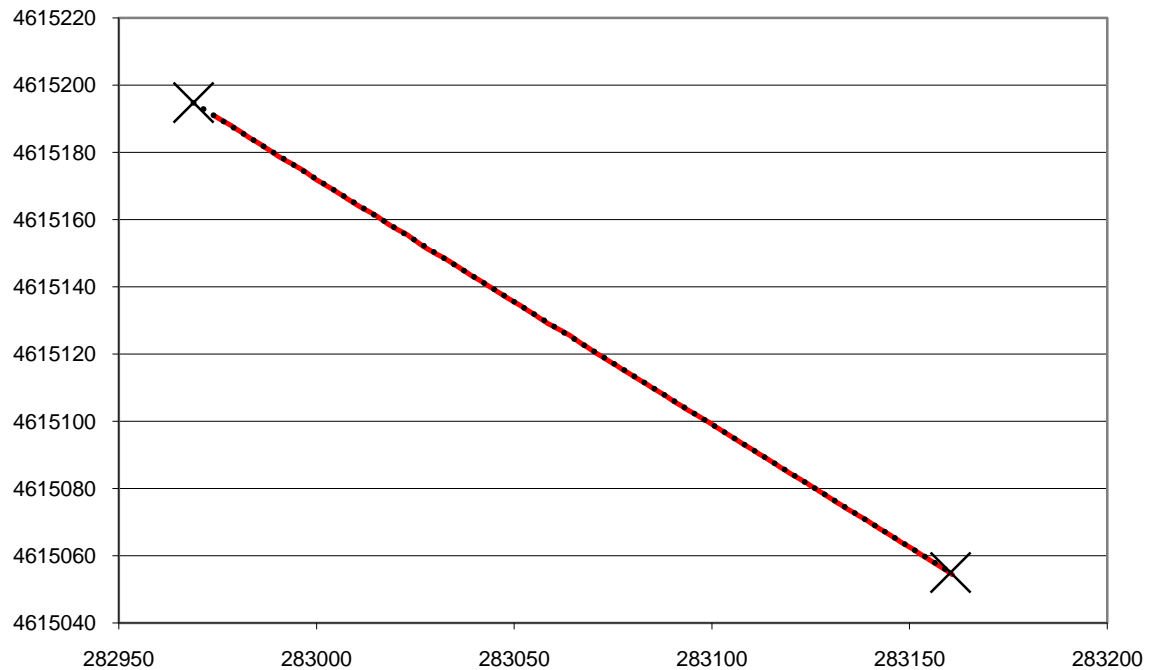


Figura 5.27: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3A).

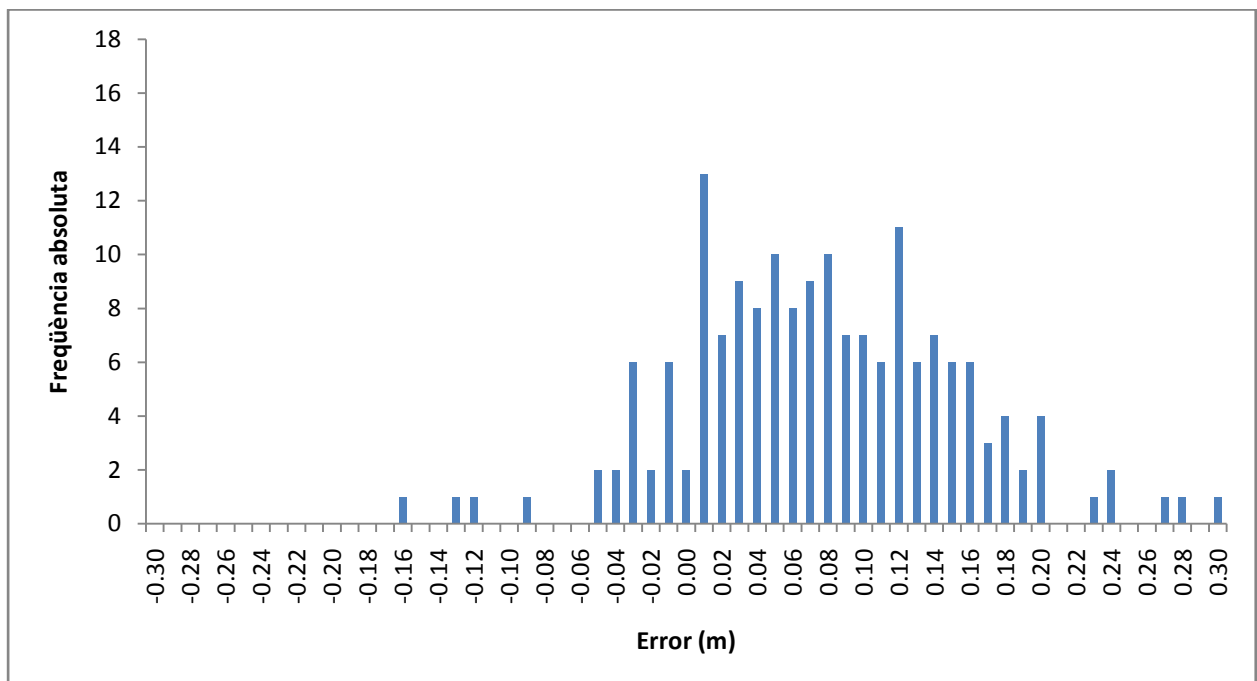


Figura 5.28: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3A).

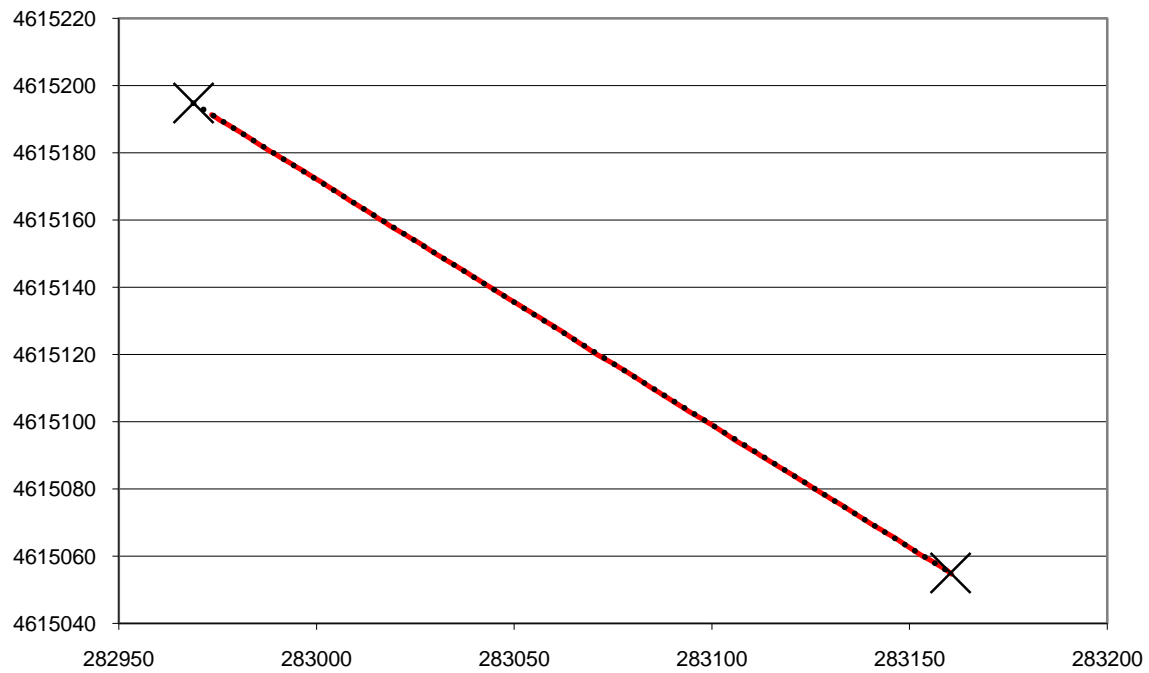


Figura 5.29: Gràfic representant la repetició de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3AA).

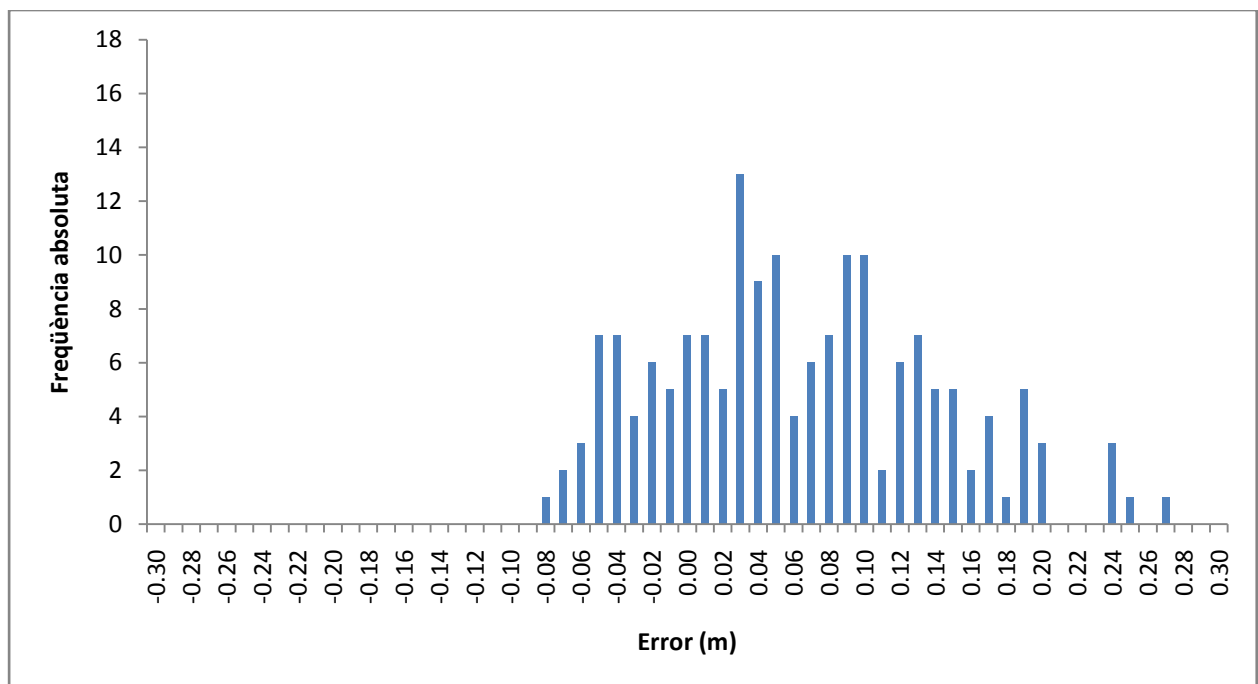


Figura 5.30: Histograma absolut que representa les desviacions de la repetició de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3AA).

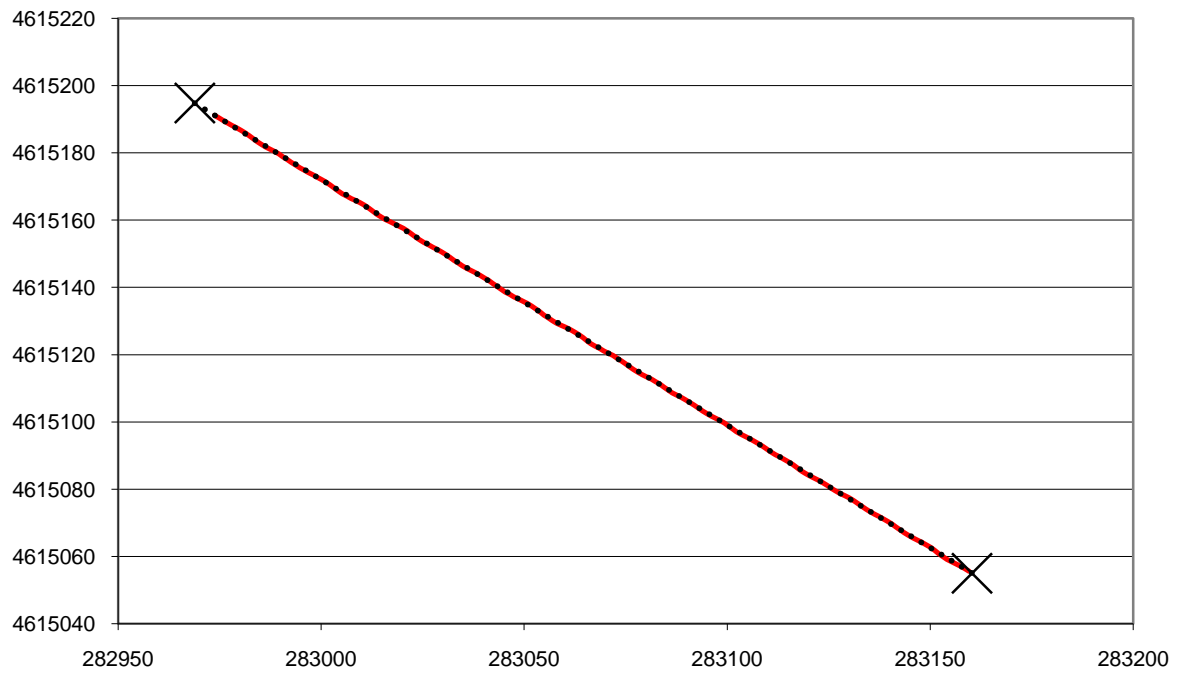


Figura 5.31: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3B).

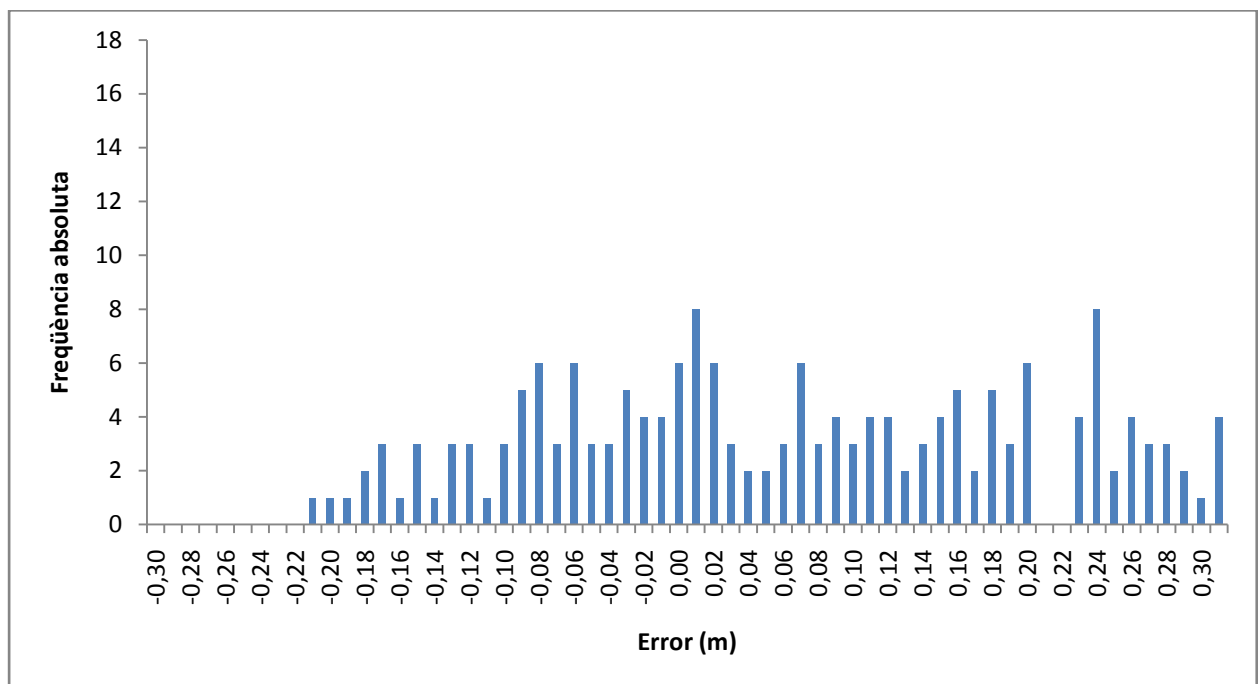


Figura 5.32: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3B).

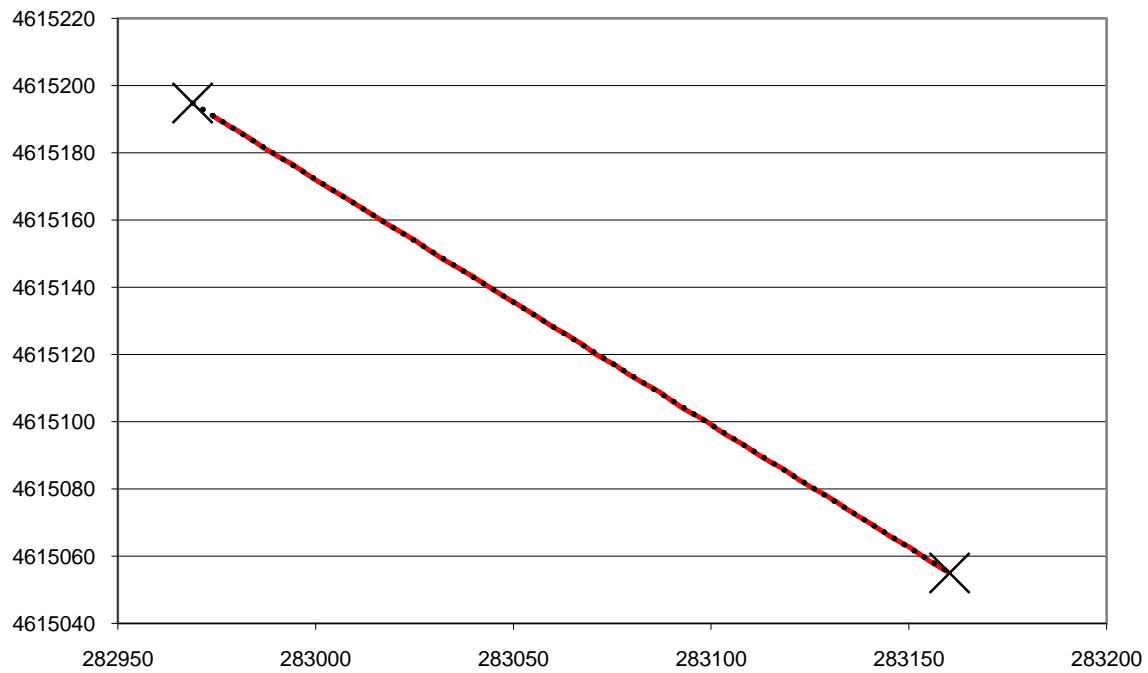


Figura 5.33: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3C).

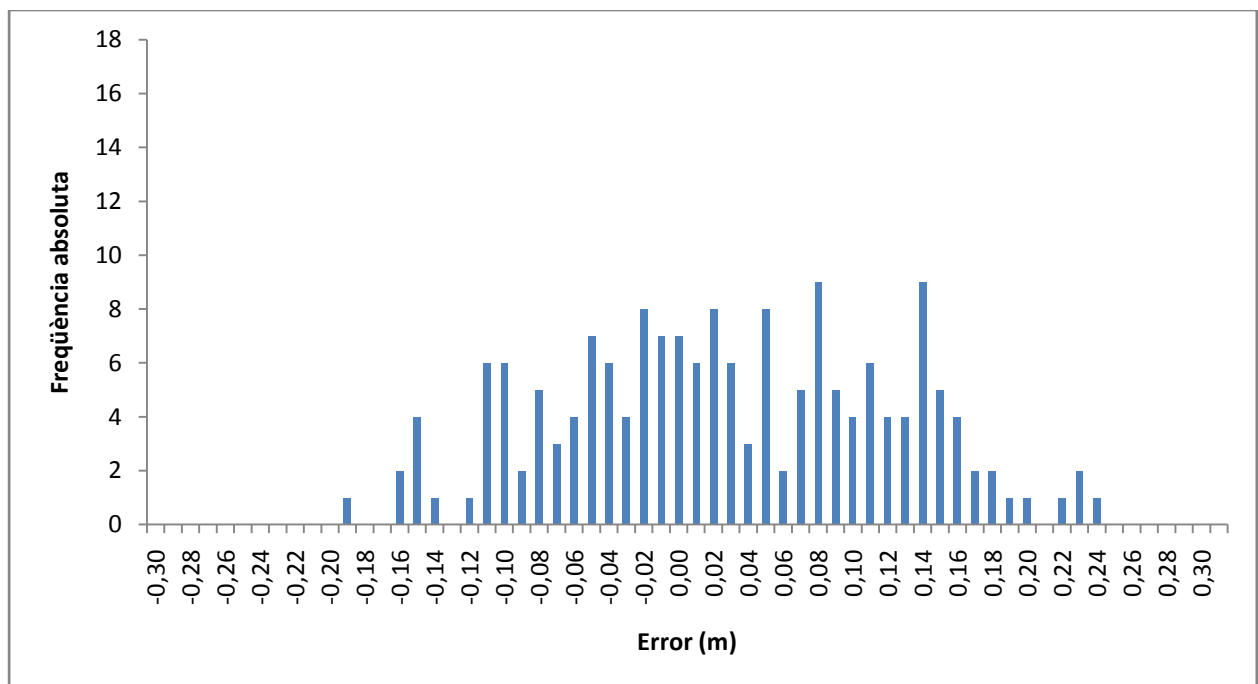


Figura 5.34: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR3C).



Es va repetir la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres per a que el conductor es familiaritzés amb el sistema de guiatge.

#### ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.5: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajut al guiatge a 3 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

Grups	Observacions	Suma (m)	Mitjana (m)*	Variància (m <sup>2</sup> )
15122009_RTK_2PR3A	168	12,706	0,076 b	0,0034
15122009_RTK_2PR3B	177	21,360	0,121 a	0,0072
15122009_RTK_2PR3C	172	13,771	0,080 b	0,0030

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.6: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajut al guiatge a 3 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

Origen de les variacions	$\Sigma$ de quadrats	Graus de llibertat	Mitjana de quadrats	F	Probabilitat	Valor crític d'F
Entre grups	0,215	2	0,107	23,461	1,7762E-10	3,013
Dins dels grups	2,355	514	0,005			
Total	2,570	516				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica i la probabilitat és menor que el nivell de significació. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Això pot ser perquè al corregir a 3 metres vista el programa calcula unes diferències d'angle molt més grans que en altres correccions al estar el punt objectiu molt proper donant lloc a una correcció molt nerviosa i inestable. Aquest fet provoca que el tractorista estigui contínuament corregint a dreta i esquerra fent esses.

Les passades A i C són equivalents però la passada B és significativament diferent a les altres. Donat que la mitjana de la passada B és major, podem dir que la passada 2PR3B ha estat menys precisa que les altres dues.

Es pot dir que el guiatge amb la correcció a 3 metres vista no és prou fiable perquè la precisió aconseguida és variable i depèn de cada passada per la inestabilitat de la correcció. Però podria ser vàlida en situacions en les que la velocitat fos més lenta que la emprada en aquest treball. Però s'hauria de comprovar primer per a confirmar-ho.

Tot i que la passada està més centrada, segueix desviant-se lleugerament a la dreta. Cal dir que el tractorista mirava contínuament la barra de llums, però hi havia un supervisor per a donar l'ordre d'una correcció d'emergència per a evitar malmetre greument un arbre.

El resultat de les passades amb l'ajut al guiatge a 10 metres vista es mostra a continuació:

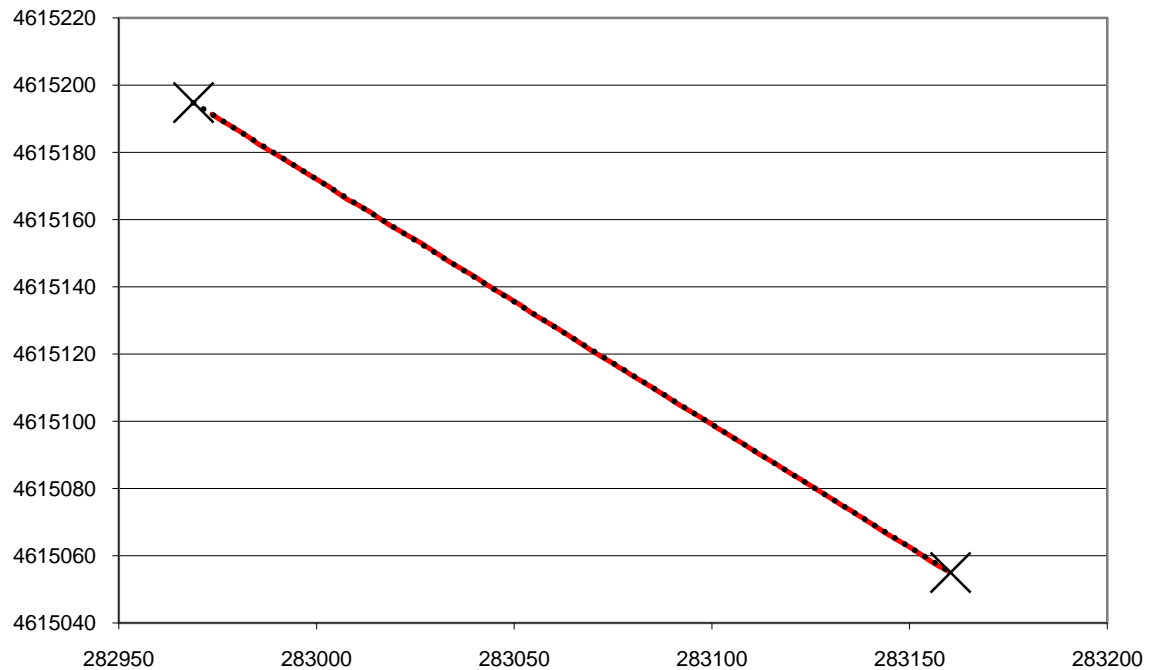


Figura 5.35: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR10A).

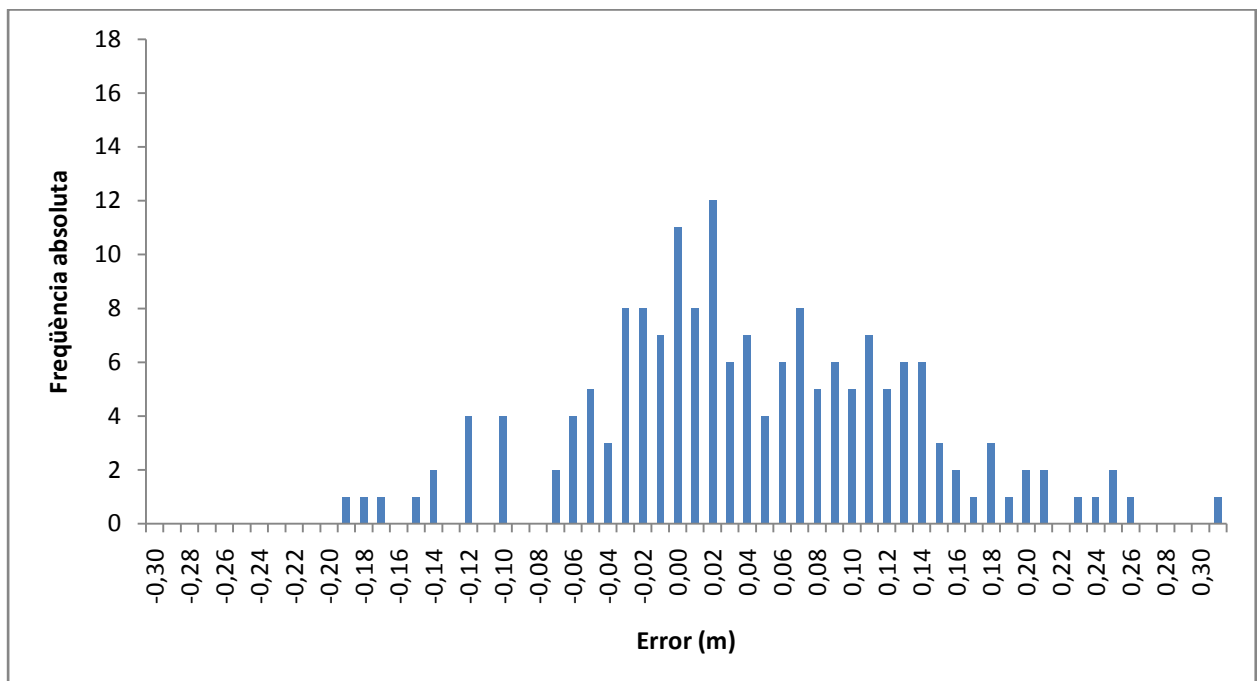


Figura 5.36: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR10A).

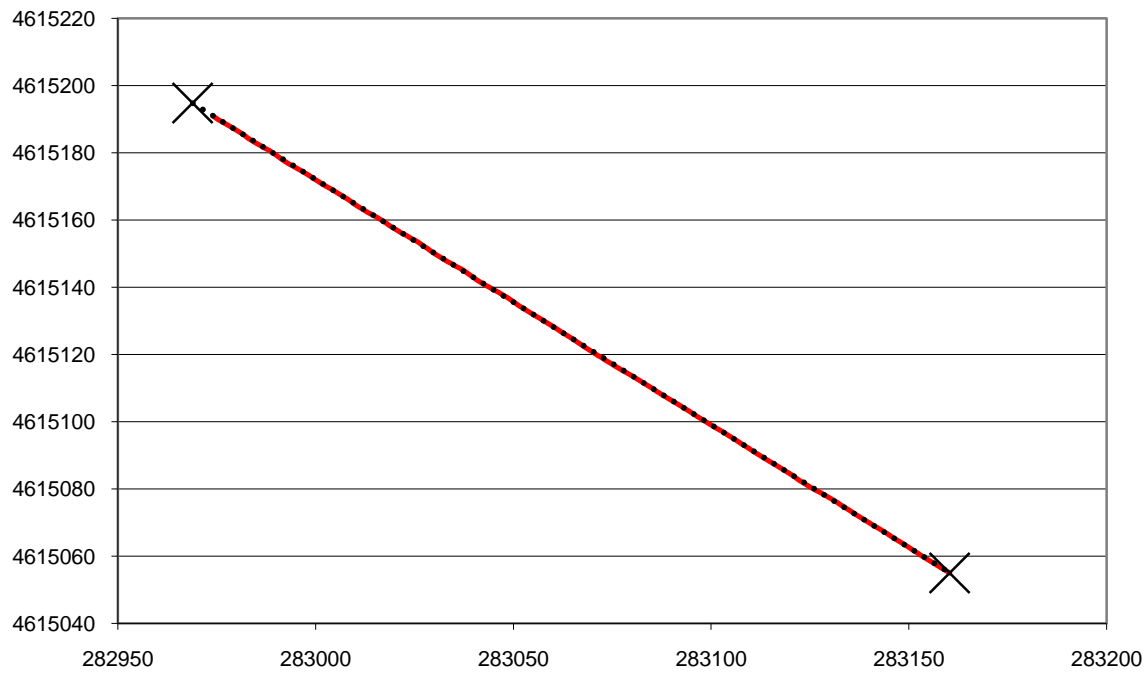


Figura 5.37: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR10B).

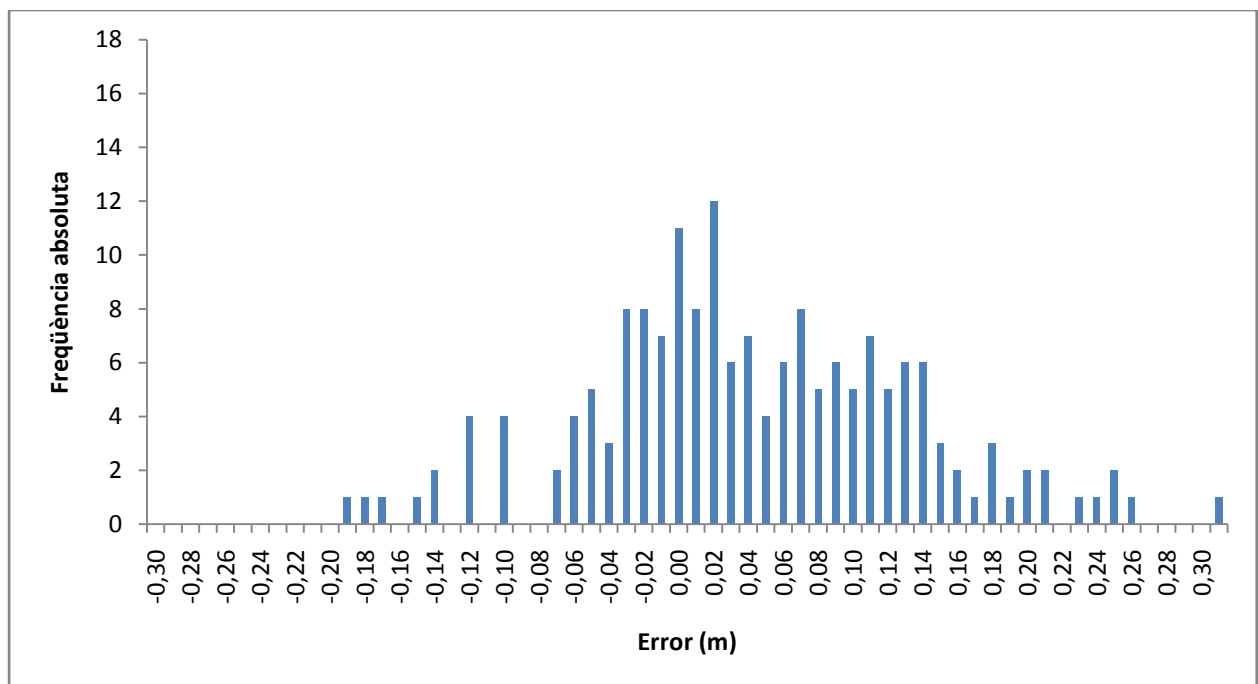


Figura 5.38: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 vista en fruiters metres (15122009\_RTK\_2PR10B).

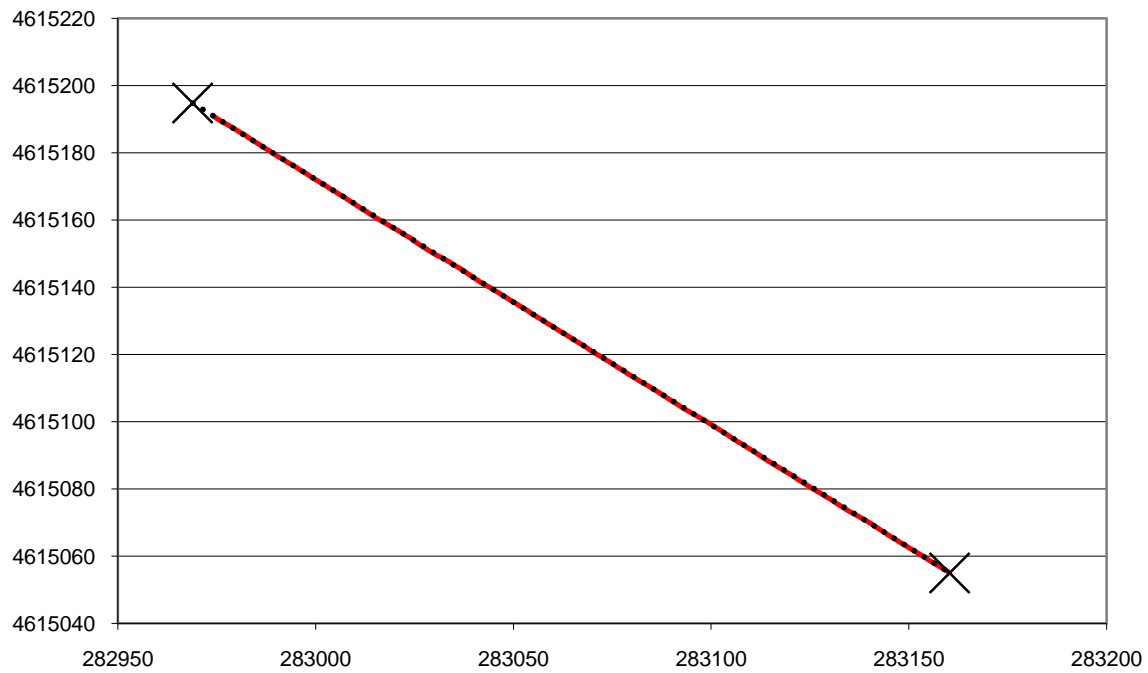


Figura 5.39: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR10C).

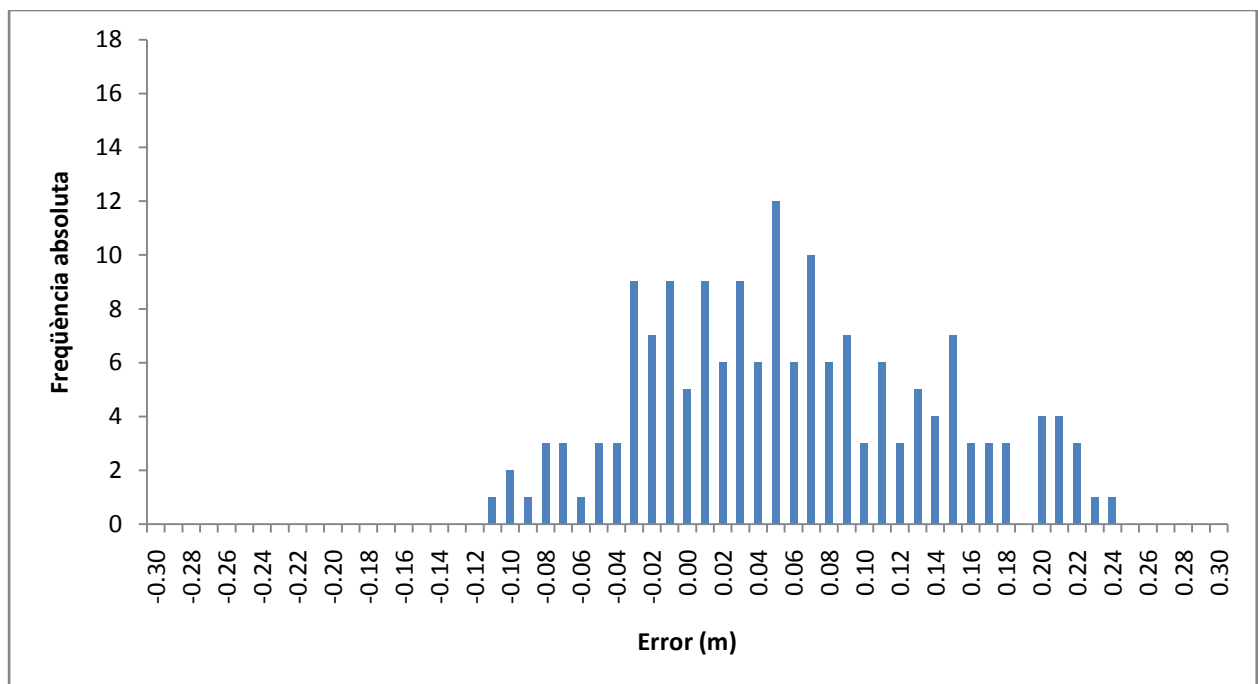


Figura 5.40: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR10C).

## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.7: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajut al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2PR10A	173	13.213	0.076 a	0.0040
15122009_RTK_2PR10B	177	15.456	0.087 a	0.0043
15122009_RTK_2PR10C	168	12.704	0.076 a	0.0036

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.8: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajut al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	0.015	2	0.007	1.885	0.15289	3.013
Dins dels grups	2.045	515	0.004			
Total	2.060	517				

No es pot rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F < f$  crítica i la probabilitat és superior al nivell de significació. És a dir, les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Com que el programa corregeix la trajectòria a 10 metres vista és menys nerviós que a 3 metres i per tant es pot seguir la trajectòria d'una manera menys violenta i més acurada.

Es pot dir que el guiatge amb la correcció a 10 metres vista funciona prou bé com per a ser utilitzat en sistemes per a l'ajut al guiatge.

Tot i això es pot observar la tendència de desviar-se a la dreta.

El resultat de les passades amb l'ajut al guiatge a 50 metres vista es mostra a continuació:

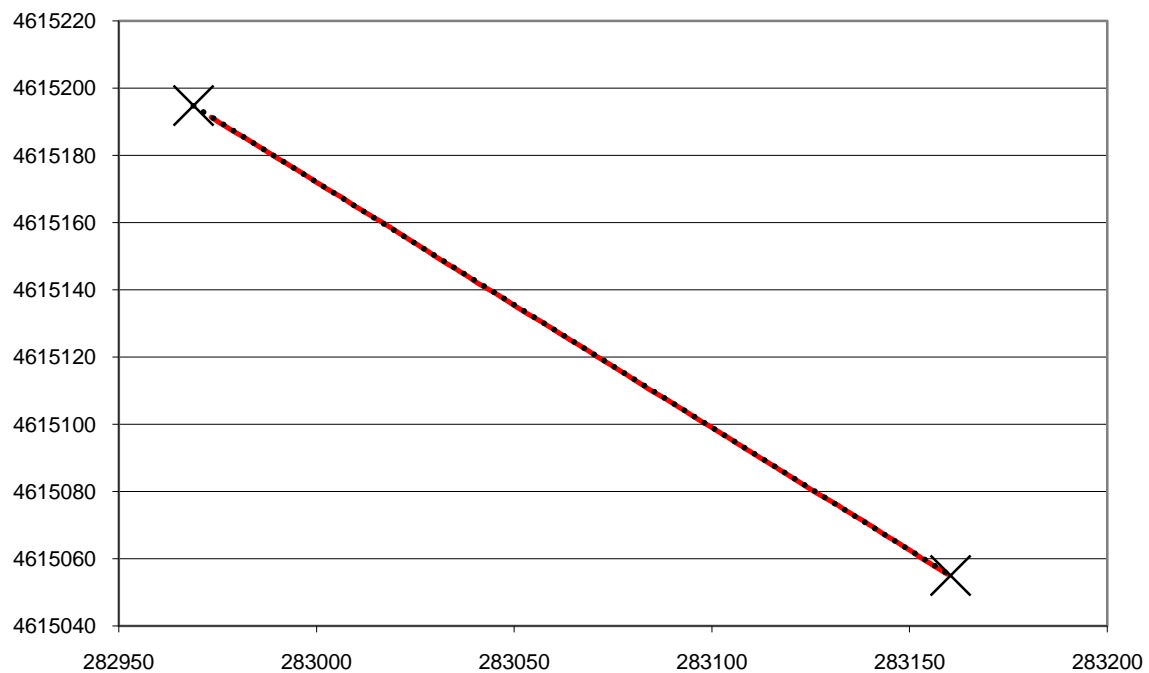


Figura 5.41: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR50A).

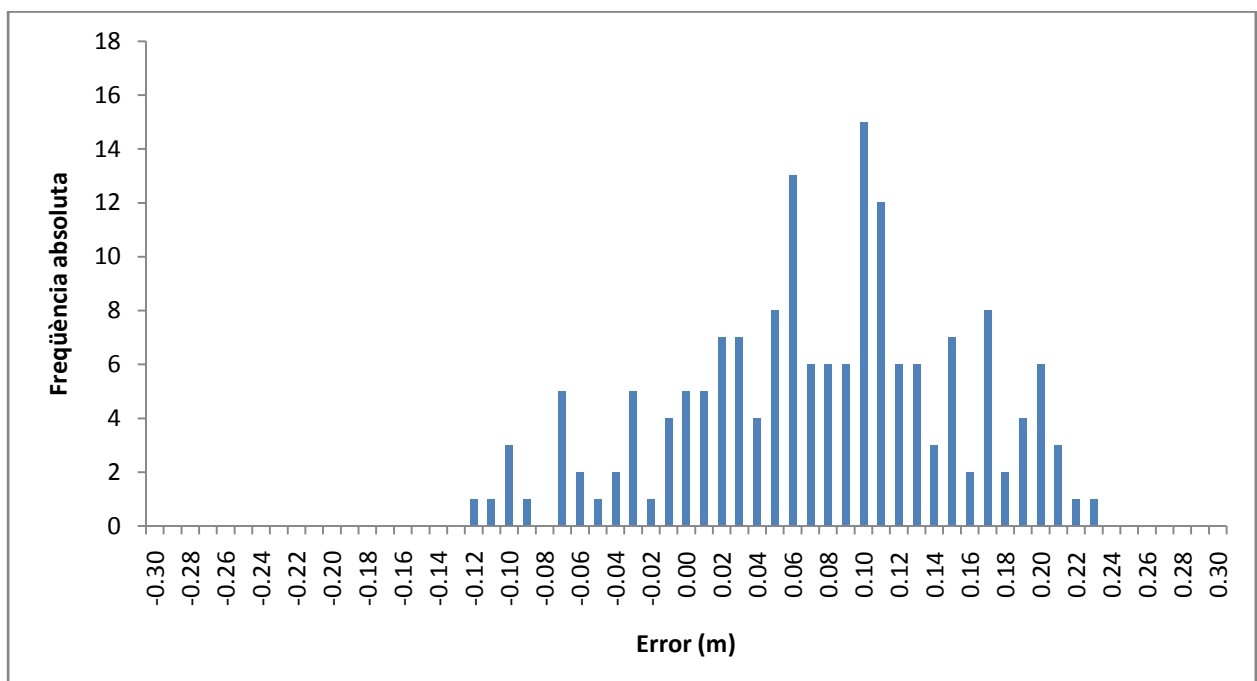


Figura 5.42: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR50A).

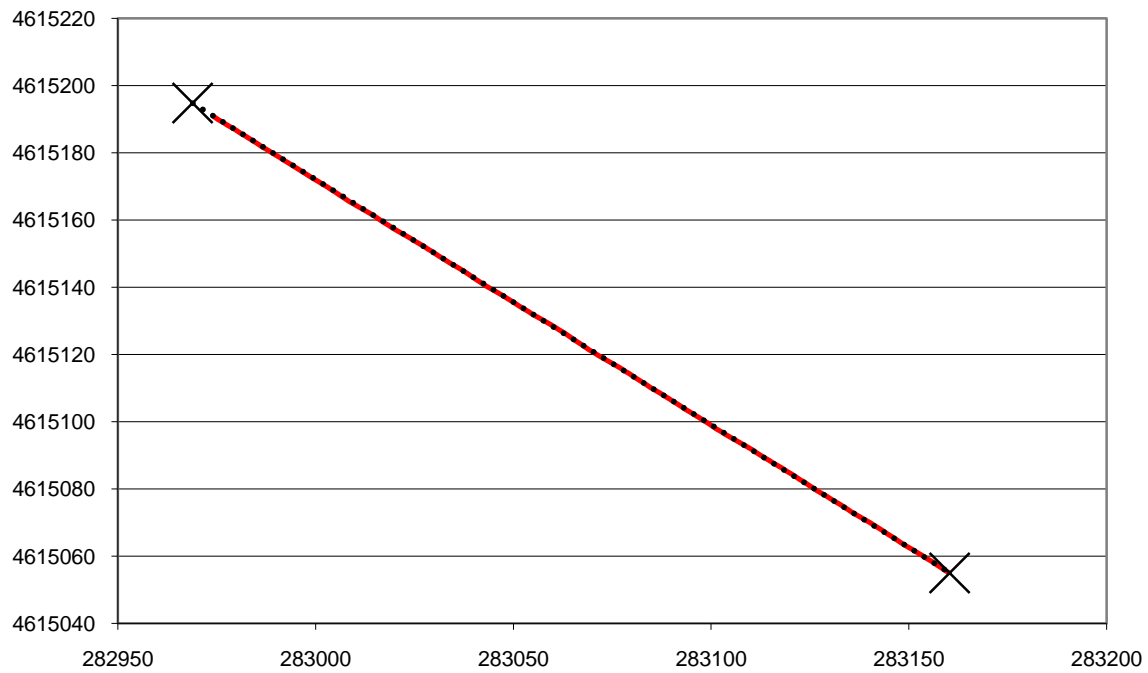


Figura 5.43: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR50B).

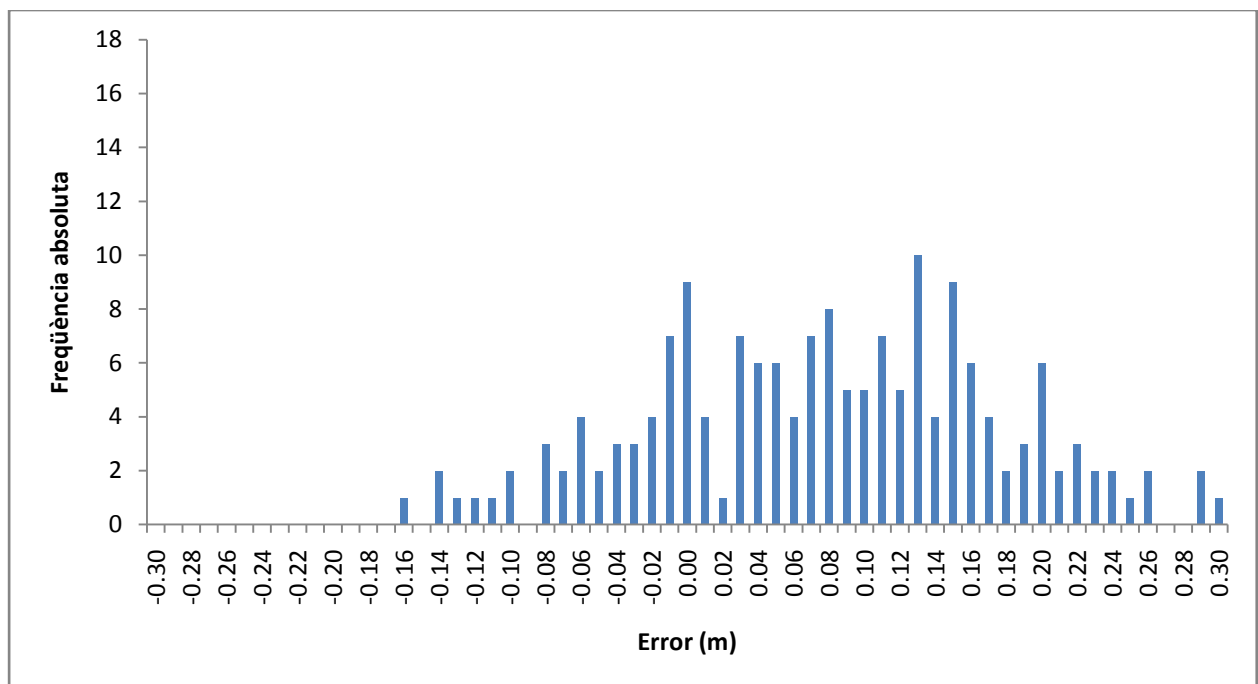


Figura 5.44: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR50B).

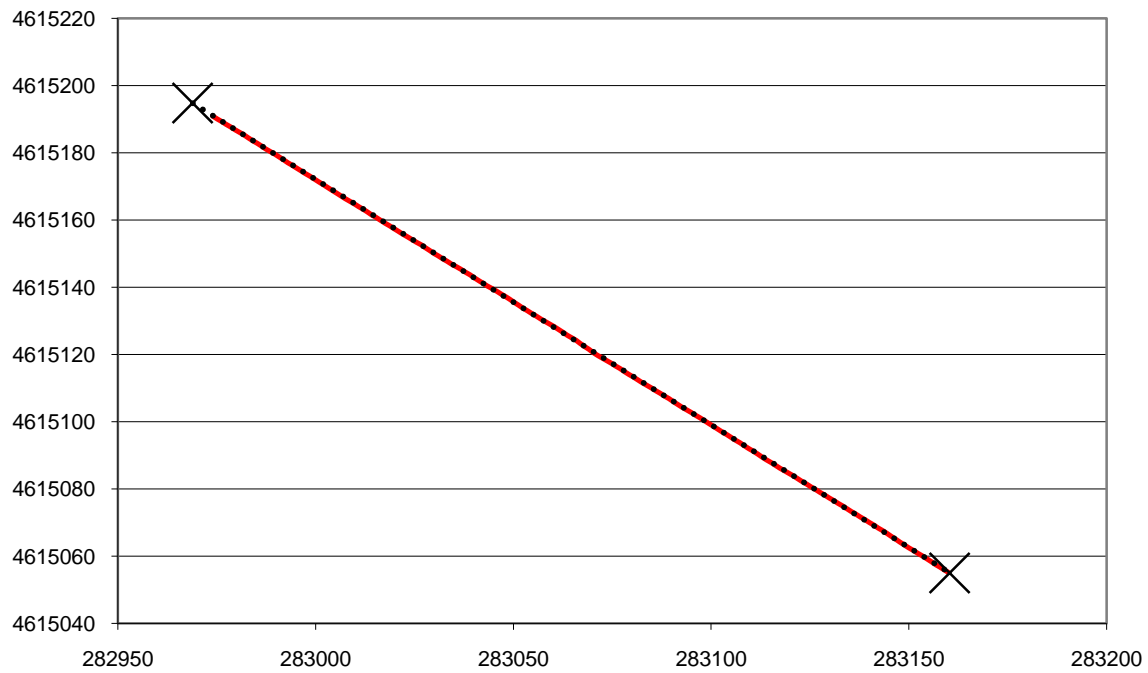


Figura 5.45: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR50C).

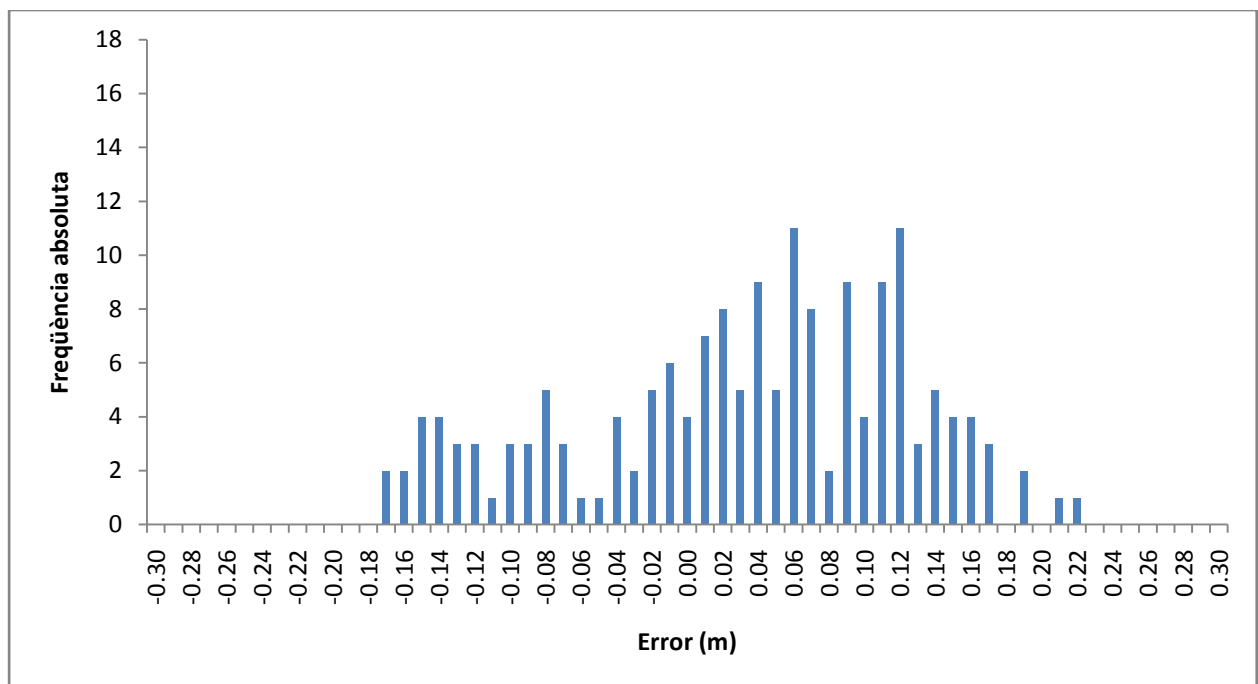


Figura 5.46: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en fruiters (15122009\_RTK\_2PR50C).



## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.9: Estadístics descriptius de les repeticions de passada ajut al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2PR50A	169	14.963	0.089 ab	0.0031
15122009_RTK_2PR50B	169	16.819	0.100 a	0.0048
15122009_RTK_2PR50C	167	13.622	0.082 b	0.0027

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.10: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajut al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	0.028	2	0.014	3.897	0.02093	3.014
Dins dels grups	1.774	502	0.004			
Total	1.802	504				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica i la probabilitat és menor que el nivell de significació. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Això pot ser perquè al corregir a 50 metres vista el programa calcula unes diferències d'angle molt més petites que en altres correccions al estar el punt objectiu molt llunyà. Donant lloc a unes correccions molt suaus tot i una desviació clarament visible que es corregiria durant la passada control.

Les passades B i C són significativament diferents entre elles mentre que la passada A és equivalent a ambdues. Donat que la mitjana de la passada B és major, es pot dir que la passada 2PR50B ha estat menys precisa que la passada 2PR50C.

Es pot dir que el guiatge amb la correcció a 50 metres vista no és prou fiable perquè la precisió aconseguida és variable i depèn de cada passada. Però podria ser vàlida en situacions en les que la velocitat fos més elevada que la emprada en aquest treball. Però s'hauria de comprovar primer per a confirmar-ho.

S'observa lleugerament la tendència a desviar-se a la dreta.

ANÀLISI CONJUNTA DELS RESULTATS

## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.11: Estadístics descriptius de totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge en fruiters.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2PCA	164	11,668	0,0711 c	0,0026
15122009_RTK_2PCB	173	11,764	0,0680 c	0,0031
15122009_RTK_2PCC	167	17,370	0,1040 ab	0,0049
15122009_RTK_2PR3A	168	12,706	0,0756 c	0,0034
15122009_RTK_2PR3B	177	21,360	0,1207 a	0,0072
15122009_RTK_2PR3C	172	13,771	0,0801 bc	0,0030
15122009_RTK_2PR10A	173	13,213	0,0764 c	0,0040
15122009_RTK_2PR10B	177	15,456	0,0873 bc	0,0043
15122009_RTK_2PR10C	168	12,704	0,0756 c	0,0036
15122009_RTK_2PR50A	169	14,963	0,0885 bc	0,0031
15122009_RTK_2PR50B	169	16,819	0,0995 ab	0,0048
15122009_RTK_2PR50C	167	13,622	0,0816 bc	0,0027

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.12: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge en fruiters.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	0,453	11	0,041	10,532	4,7786E-19	1,793
Dins dels grups	7,946	2032	0,004			
Total	8,399	2043				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica i la probabilitat és menor que el nivell de significació. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Això pot ser degut a que les dades provenen de diferents opcions de guiatge.

Com ja s'ha dit anteriorment, el resultat de la tercera passada control es podria atribuir al cansament del tractorista. Llavors, es pot afirmar que el mètode visual si el tractorista no està fatigat i la correcció a 10 metres vista són els guiats més precisos al estar totes les repeticions dintre del grup "c" amb menor mitjana d'error. Es podria dir que són guiats equivalents. Tot i que també estan dins d'aquest grup dues de les repeticions de la correcció a 3 metres vista i dues de la correcció a 50 metres vista, es pot dir que no són prou fiables per a l'ajut al guiatge a la velocitat de l'assaig perquè la precisió aconseguida és variable i depèn de cada passada.

### 5.2.2.b. Terra campa

Els resultats de la prova s'han representat de dues maneres. Una representació sobre el pla on es representen les mesures de la posició del tractor de cada correcció diferencial i la recta central de la passada que representa la recta ideal de referència (Figura 5.47, Figura 5.49, Figura 5.51, Figura 5.53, Figura 5.55, Figura 5.58, Figura 5.60, Figura 5.62, Figura 5.65 i Figura 5.68). El sentit de la marxa en les representacions és de dalt a baix i d'esquerra a dreta de la recta que es visualitza. El primer punt observat és el punt que dista 3 metres de l'inici. A la segona, s'ha representat en un Histograma absolut la freqüència amb la que es repeteixen els desplaçaments en metres de la posició mesurada del tractor en relació a la posició central de la passada (Figura 5.48, Figura 5.50, Figura 5.52, Figura 5.54, Figura 5.56, Figura 5.57, Figura 5.59, Figura 5.61, Figura 5.63, Figura 5.64, Figura 5.66, Figura 5.67, Figura 5.69 i Figura 5.70). Les dades d'entrada dels histogrames són la distància més curta de la posició respecte la recta ideal de referència. Donat el sentit de la marxa, quan la distància és positiva el tractor es desvia a la dreta i quan la distància és negativa a l'esquerra.

Anàlisi de la repetibilitat del sistema de guiatge:

El resultat de les passades control es mostra a continuació:

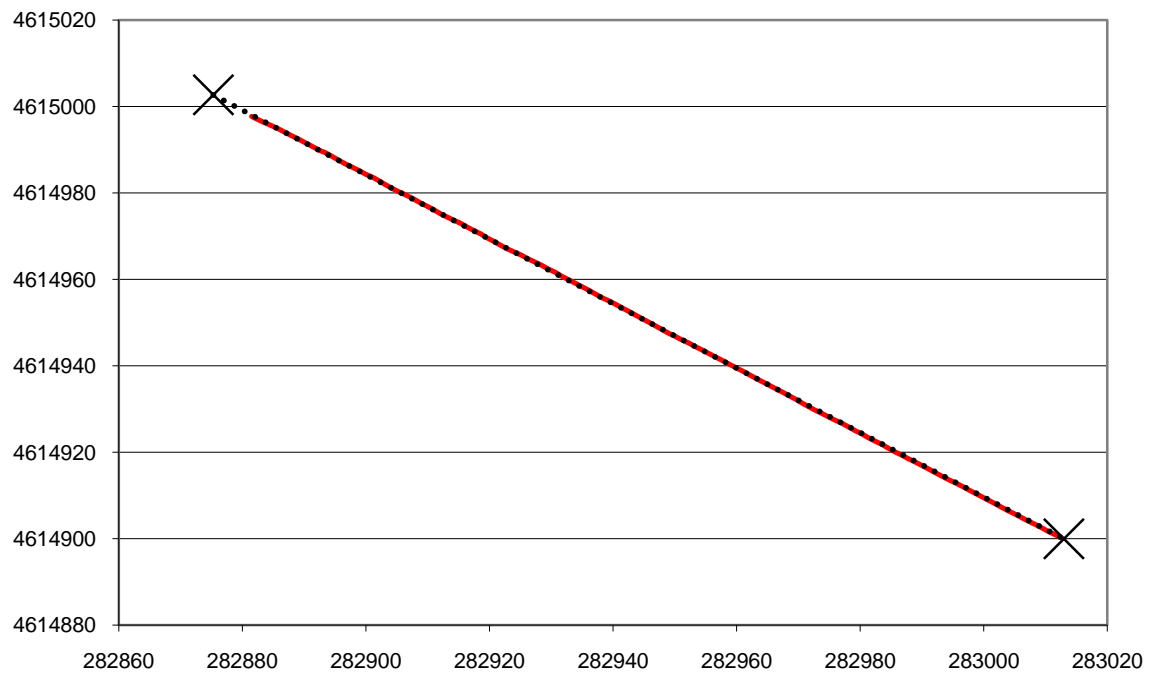


Figura 5.47: Gràfic representant la primera passada control en terra camp (15122009\_RTK\_2TPCA).

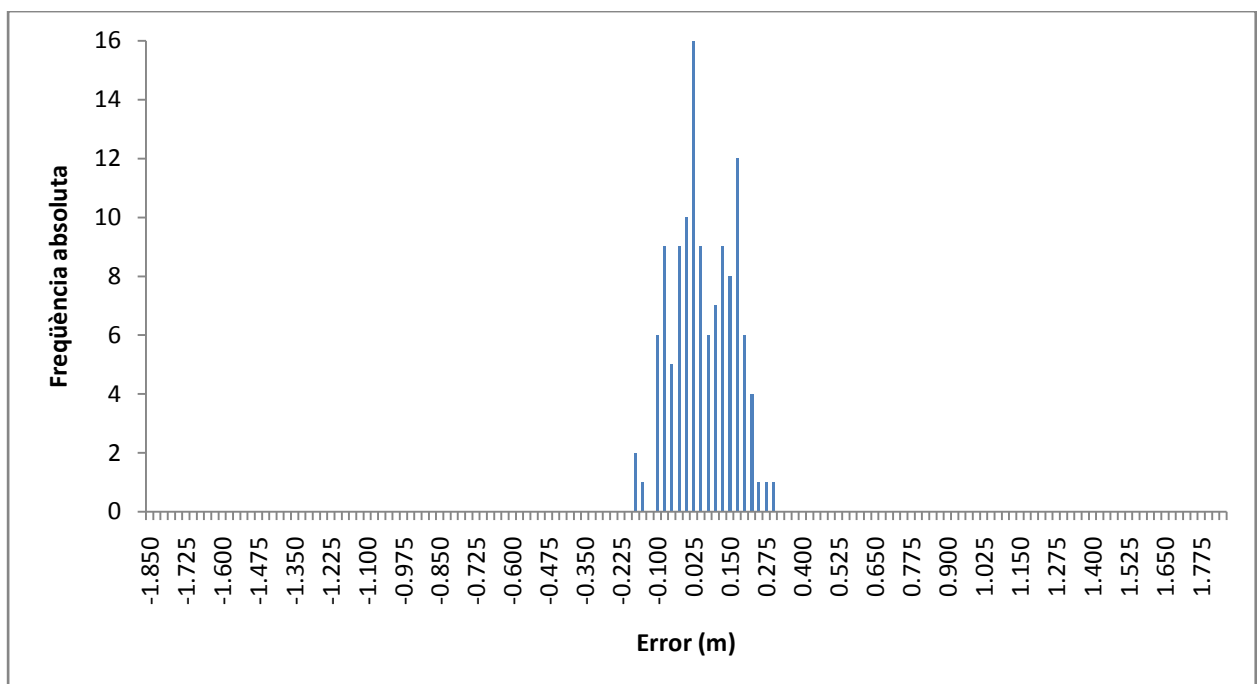


Figura 5.48: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada control en terra camp (15122009\_RTK\_2TPCA).

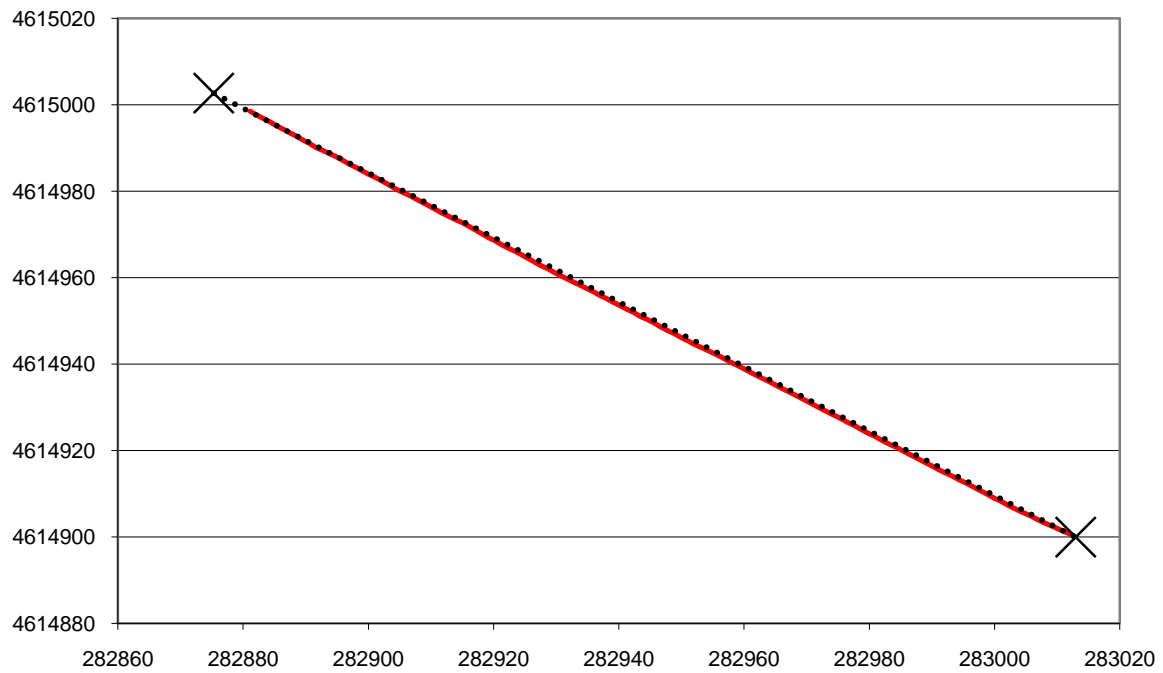


Figura 5.49: Gràfic representant la segona passada control en terra camp (15122009\_RTK\_2TPCB).

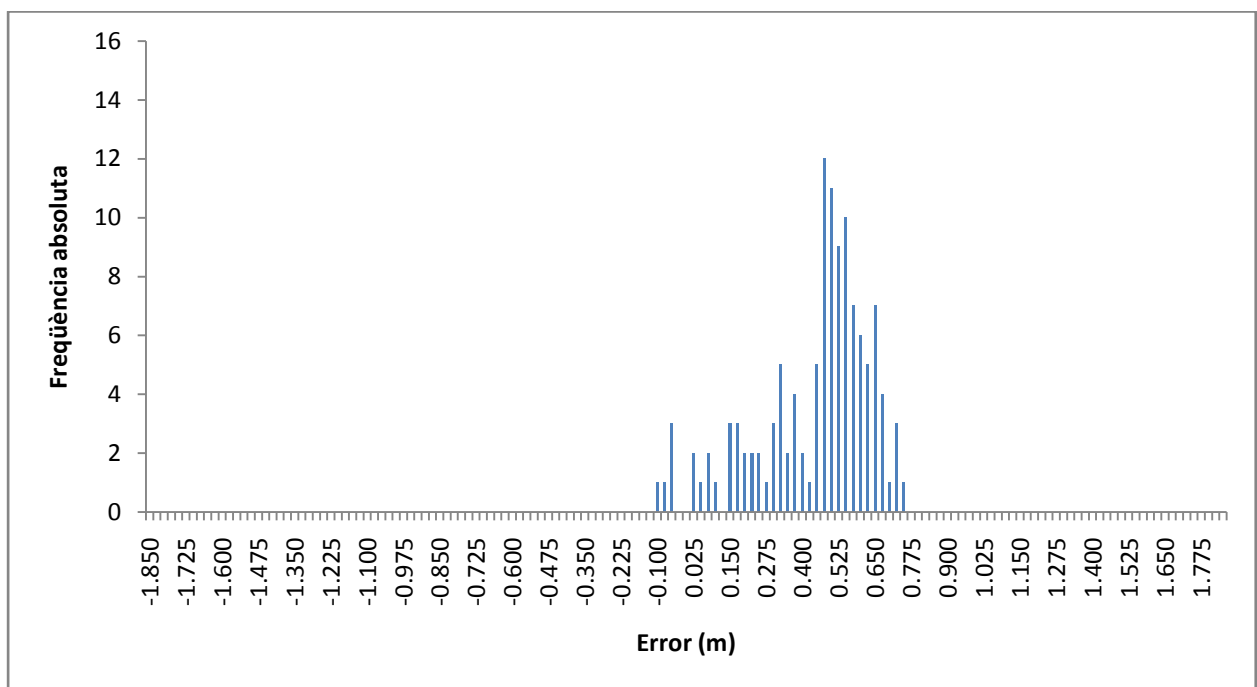


Figura 5.50: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada control en terra camp (15122009\_RTK\_2TPCB).

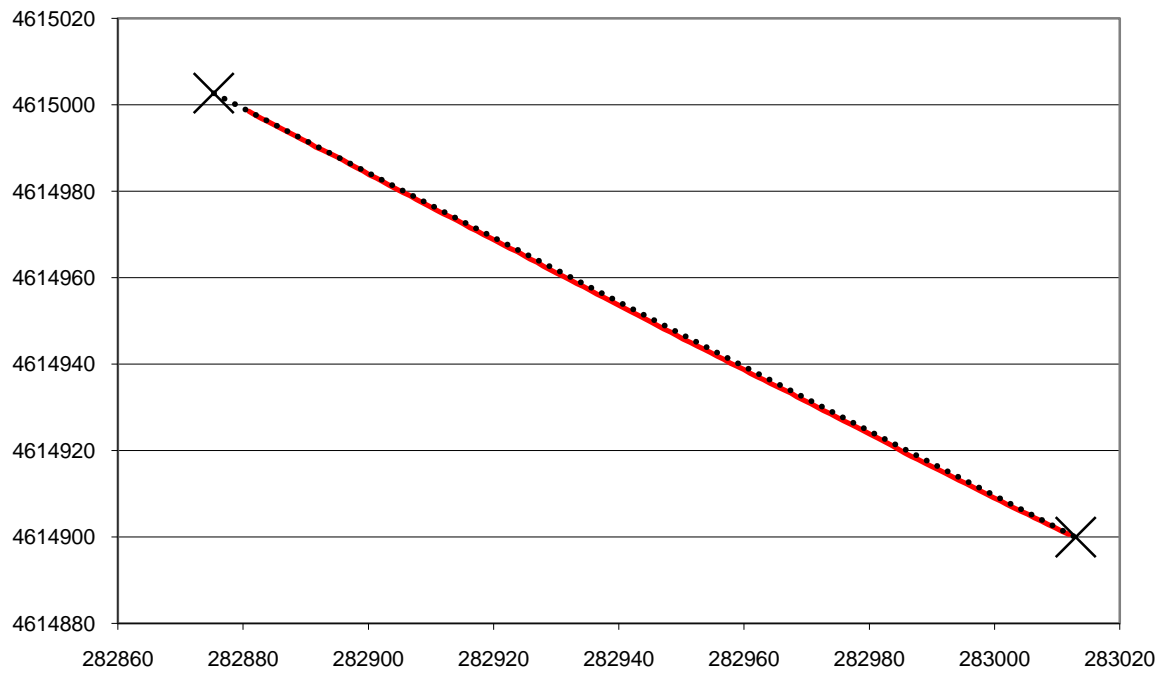


Figura 5.51: Gràfic representant la tercera passada control en terra camp (15122009\_RTK\_2TPCC).

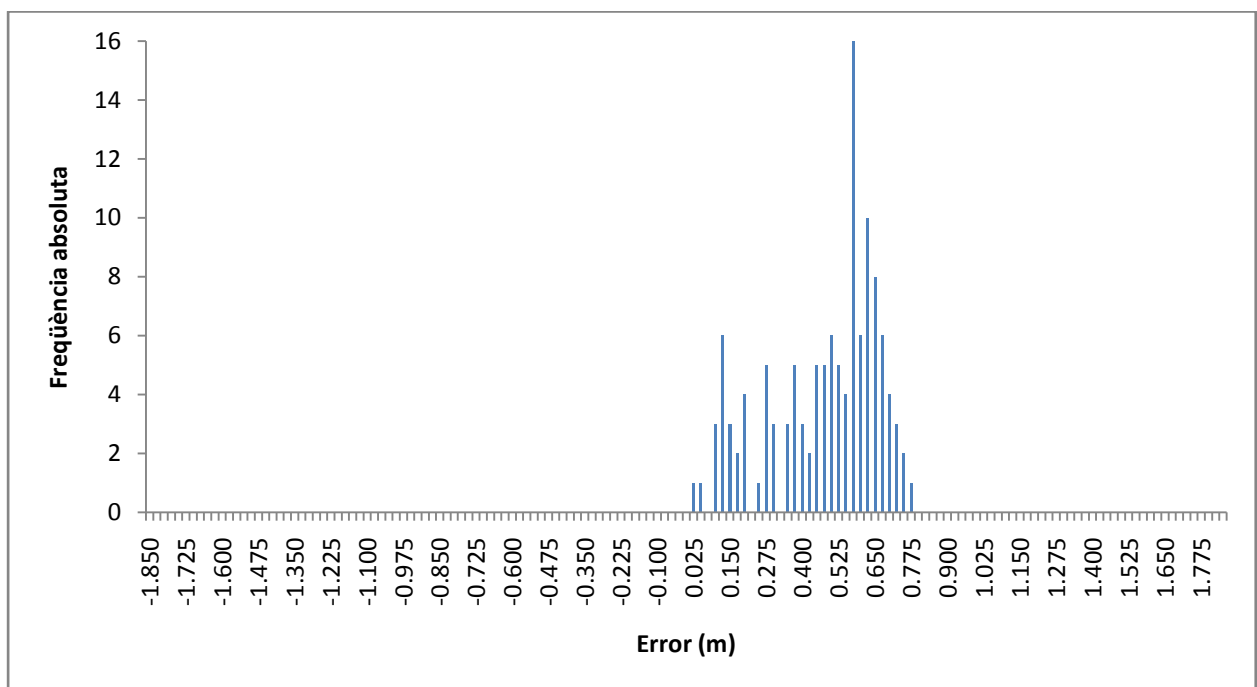


Figura 5.52: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada control en terra camp (15122009\_RTK\_2TPCC).

## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.13: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2TPCA	122	11.008	0.090 b	0.0045
15122009_RTK_2TPCB	122	53.139	0.436 a	0.0334
15122009_RTK_2TPCC	123	56.695	0.461 a	0.0363

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.14: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada de control de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	10.482	2	5.241	211.673	1.0431E-61	3.021
Dins dels grups	9.012	364	0.025			
Total	19.494	366				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica i la probabilitat és menor que el nivell de significació. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Això pot ser degut a que l'única referència visual que té el tractorista és la pica del final del camp. Però el més probable és l'estat del camp. Sembla que fa poc que s'ha llaurat i per tant el relleu és irregular. El que provoca que la cabina del tractor vagi oscil·lant d'un cantó a l'altre i encara que es vagi recte l'antena del GPS també oscil·la. Com que aquesta no té cap mena de pèndul per a corregir la inclinació del tractor, la lectura de la posició pot donar un error important.

Les passades B i C són equivalents però la passada A és significativament diferent a les altres. Donat que la mitjana de la passada A és menor, podem dir que la passada 2TPCA ha estat més precisa que les altres dues. Es va observar que a mesura que s'anaven realitzant passades les roderes del tractor s'acumulaven i es creaven més irregularitats en el terreny. Això provocava que el tractor es balancegés més. Com que la passada 2TPCA va ser la primera i al receptor li manca un sistema de pèndul, és coherent que la passada 2TPCA sigui la més precisa de la Terra campa.

Si no es té en compte la passada 2TPCA, es pot dir que el guiatge a ull és prou bo quan es té una referència visual com l'estaca de marcat de la trajectòria ideal (sempre que la meteorologia permeti una bona visibilitat).

El resultat de les passades amb l'ajut al guiatge a 3 metres vista es mostra a continuació:

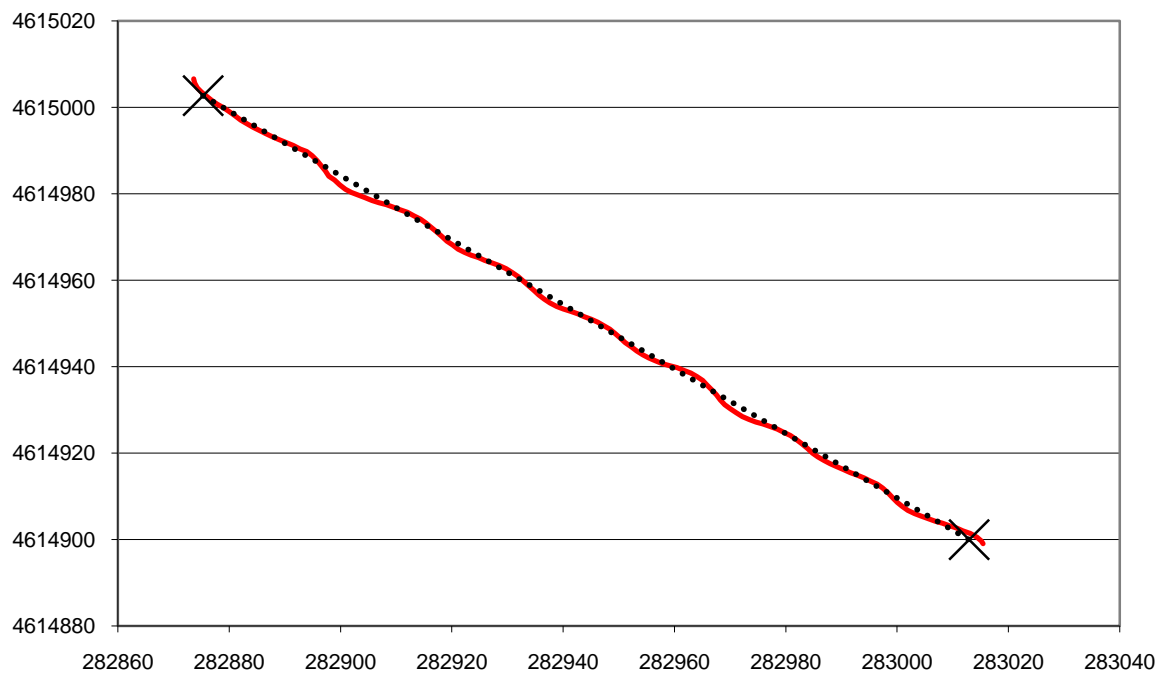


Figura 5.53: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en terra camp (15122009\_RTK\_2TPR3A).

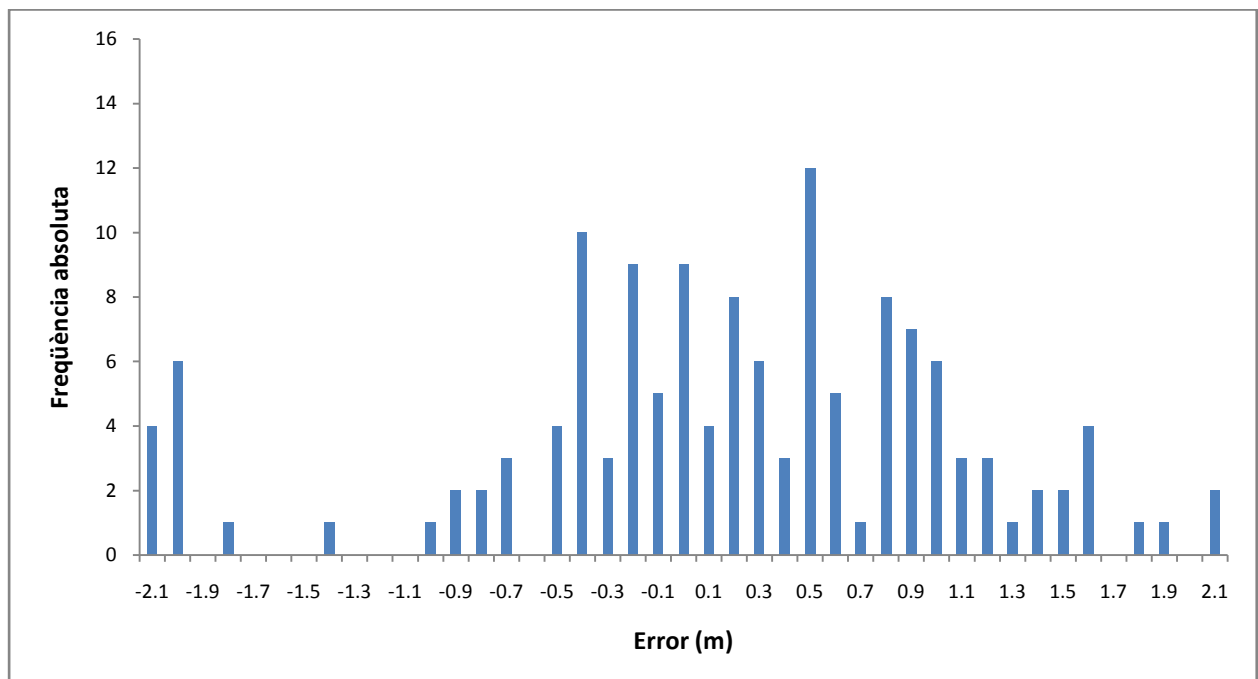


Figura 5.54: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 3 metres vista en terra camp (15122009\_RTK\_2TPR3A).

Donat que la barra de llums anava d'un extrem a l'altre per la irregularitat del terreny i la inestabilitat de la correcció a 3 metres, es va optar per eliminar aquesta correcció.



El resultat de les passades amb l'ajut al guiatge a 10 metres vista es mostra a continuació:

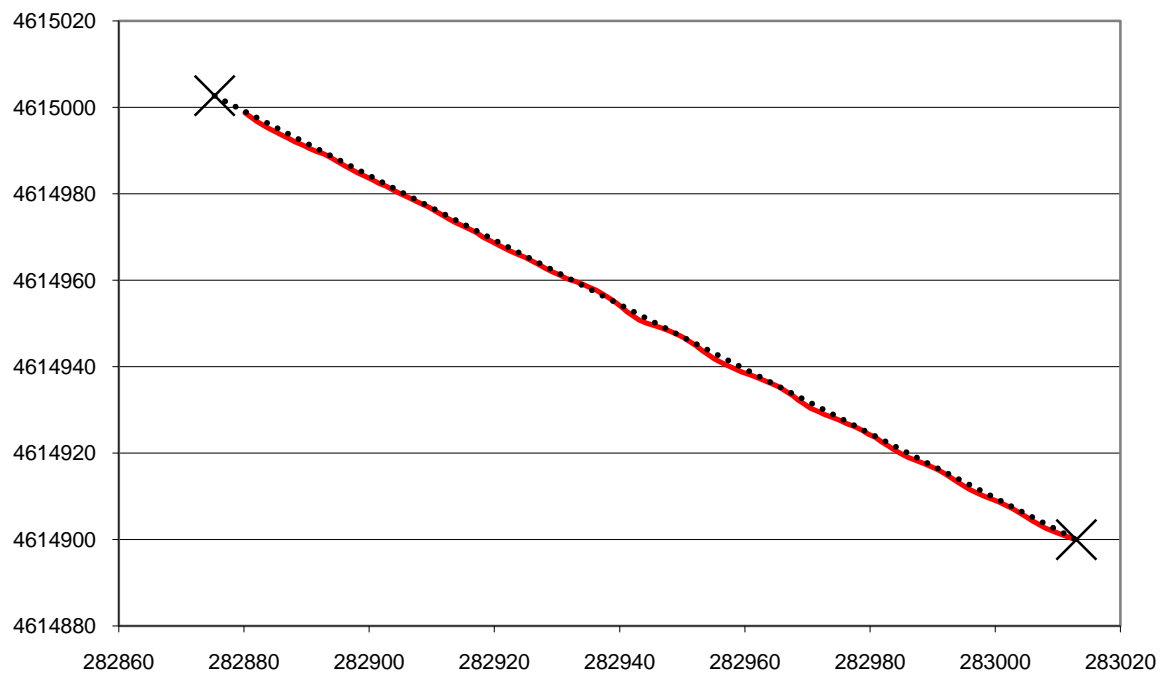


Figura 5.55: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra camp (15122009\_RTK\_2TPR10A).

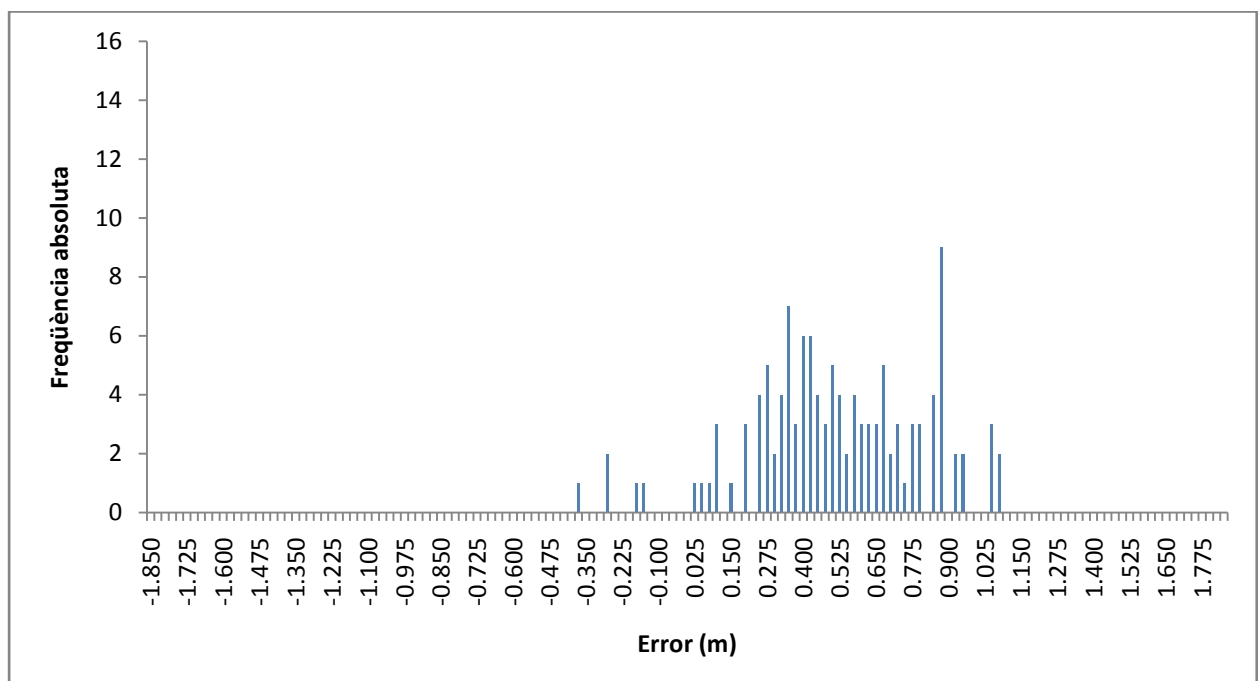


Figura 5.56: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra camp (15122009\_RTK\_2TPR10A).

El 96% de les dades estan al canto dret i la mediana està als 0.490m.

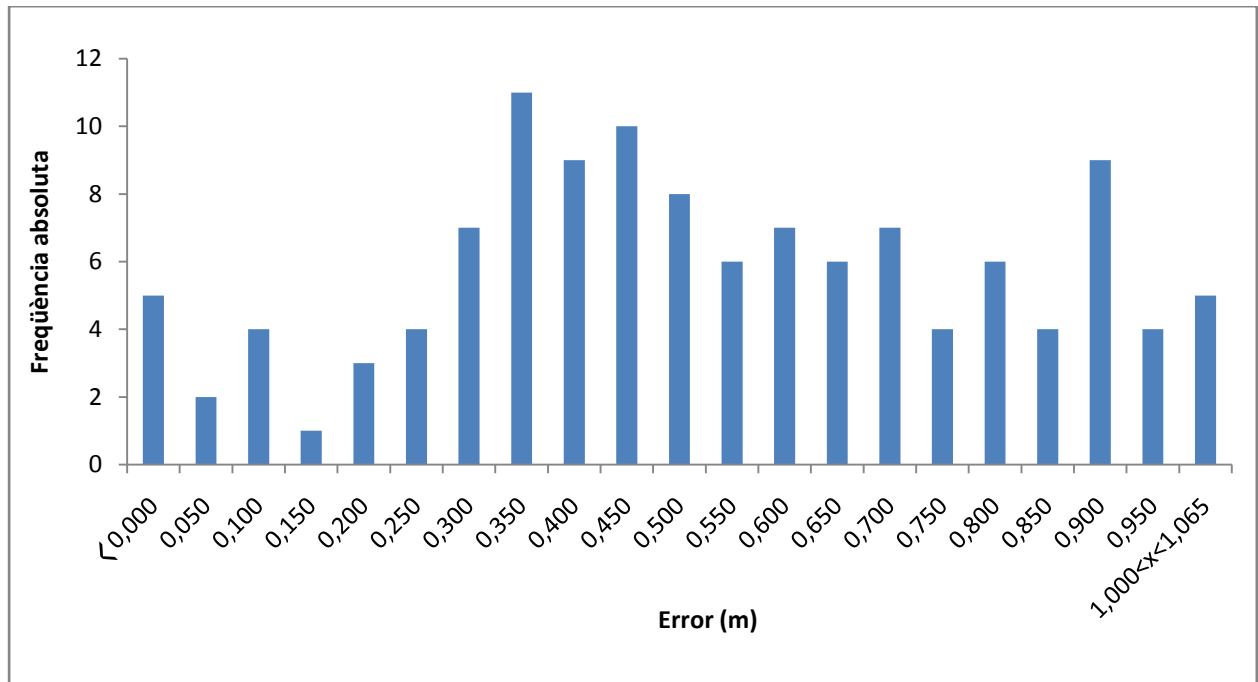


Figura 5.57: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campa (15122009\_RTK\_2TPR10A). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta.

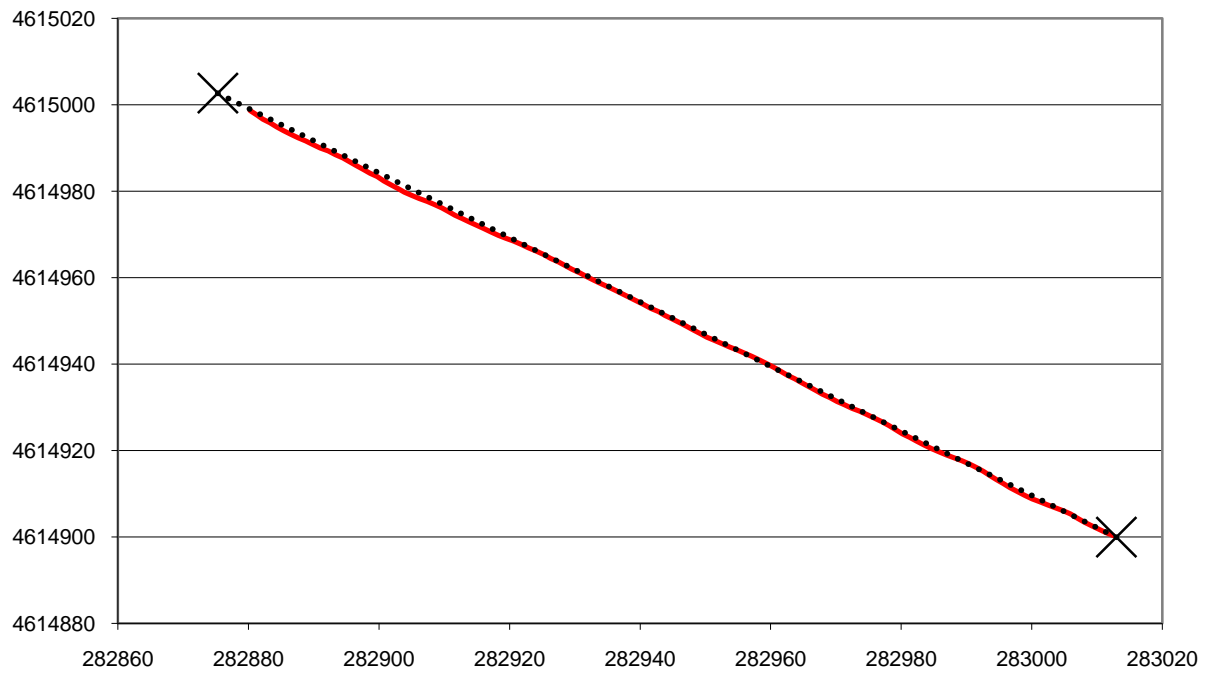


Figura 5.58: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR10B).

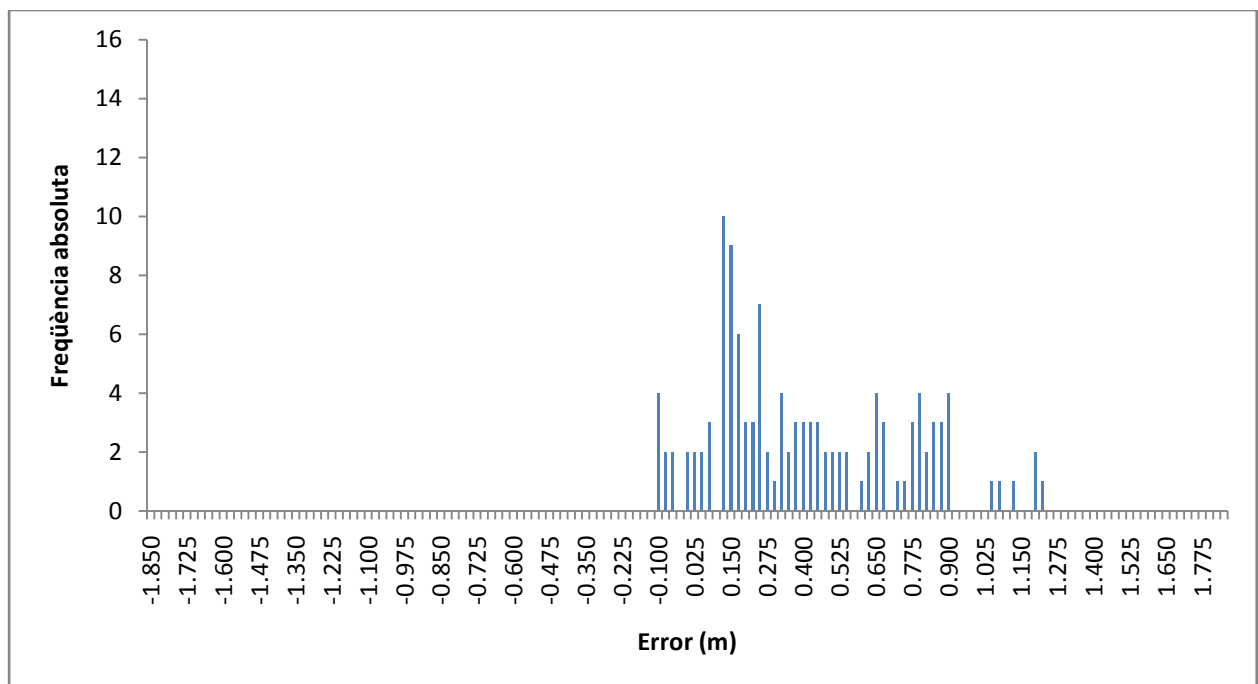


Figura 5.59: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR10B).

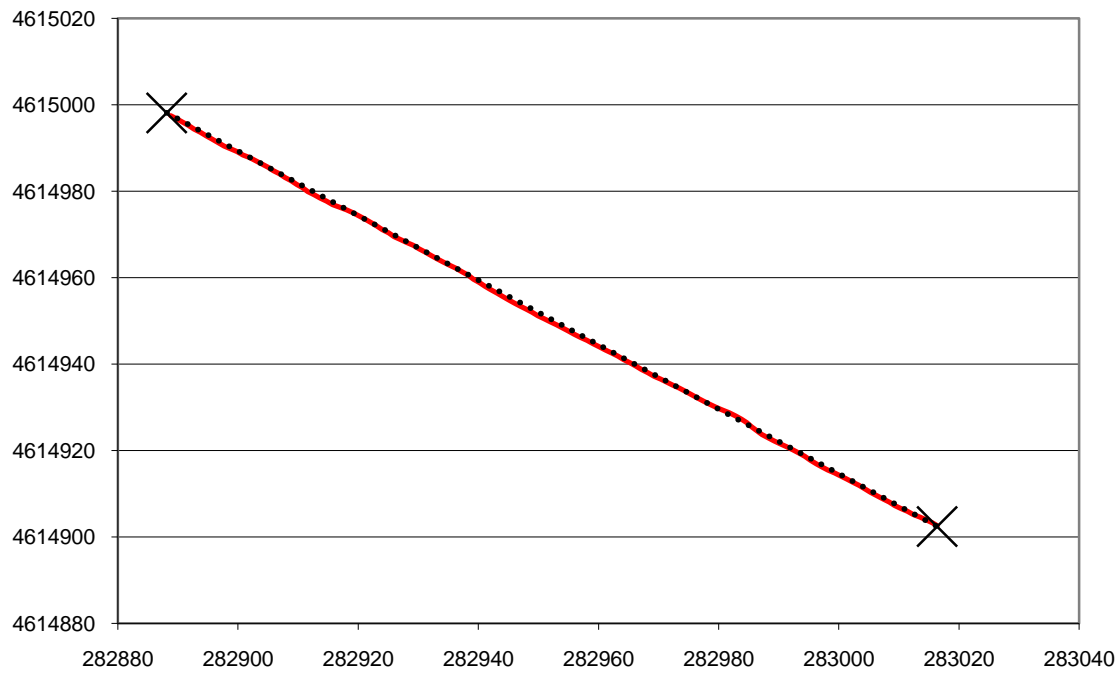


Figura 5.60: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR10CC).

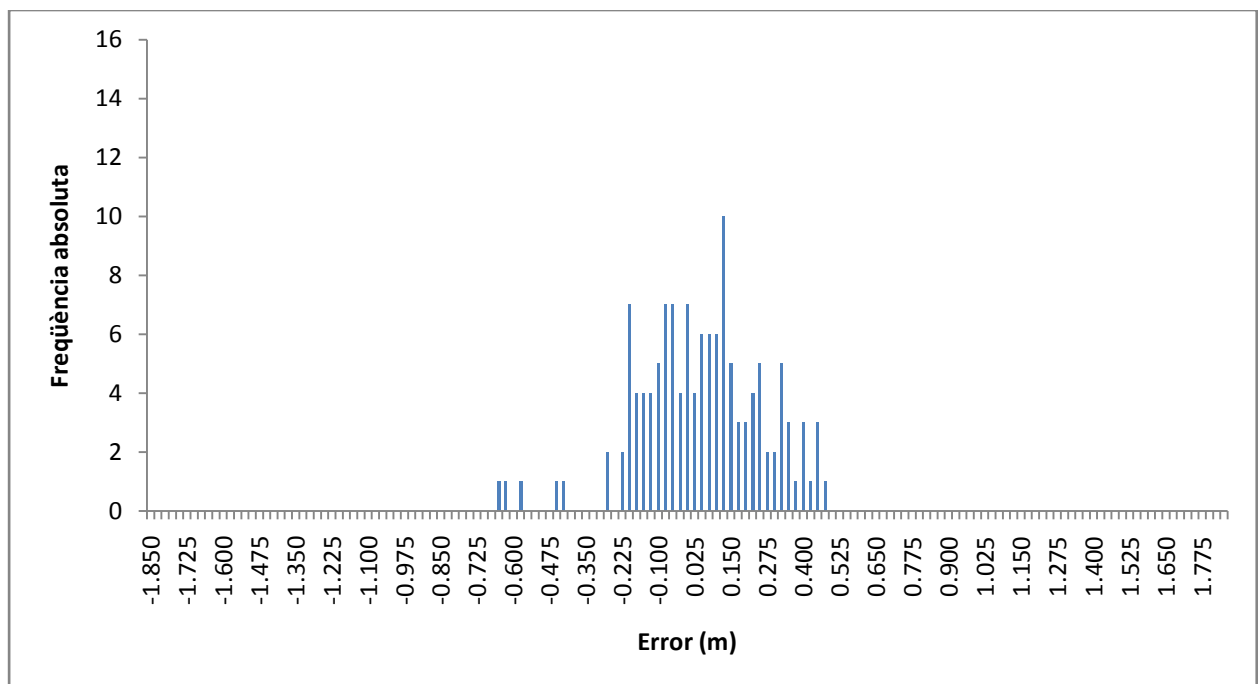


Figura 5.61: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 10 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR10CC).

## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.15: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajut al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2TPR10A	122	63.446	0.520 a	0.0646
15122009_RTK_2TPR10B	121	49.195	0.407 b	0.0989
15122009_RTK_2TPR10CC	128	32.453	0.254 c	0.0296

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.16: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajut al guiatge a 10 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	4.480	2	2.240	35.163	1.0604E-14	3.020
Dins dels grups	23.442	368	0.064			
Total	27.921	370				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Com ja s'ha dit, el relleu era irregular i això provocava que la cabina del tractor anés oscil·lant d'un cantó a l'altre i encara que s'anés recte l'antena del GPS també oscil·lava. Com que aquesta no té cap mena de pèndul per a corregir la inclinació del tractor, la lectura de la posició pot donar un error important, i per tant la correcció és errònia.

Totes les passades són significativament diferent entre elles. Donat que la mitjana de la passada C és menor, es pot dir que la passada 2TPR10CC ha estat la més precisa. Cal dir que com a conseqüència d'un salt, es va realitzar la passada 2TPR10CC per una zona on no s'hi havia passat. Per tant el terreny no presentava roderes i era menys irregular. Donant lloc a una millor precisió pel decrement de les oscil·lacions de la cabina del tractor.

L'explicació de la correcció feta a la passada C és degut a un salt en la posició de referència del GPS de l'ordre de 5 metres. La correcció ha estat realitzada a posteriori utilitzant els registres de posició que emmagatzema el programa i corregint els paràmetres de la recta passada ideal amb la diferència en la posició de les estakes.

Sense tenir en compte altres dades, es pot afirmar que la correcció a 10 metres vista per al guiatge no és fiable donat que la precisió aconseguida és molt variable i depèn de cada passada.

El resultat de les passades amb l'ajut al guiatge a 50 metres vista es mostra a continuació:

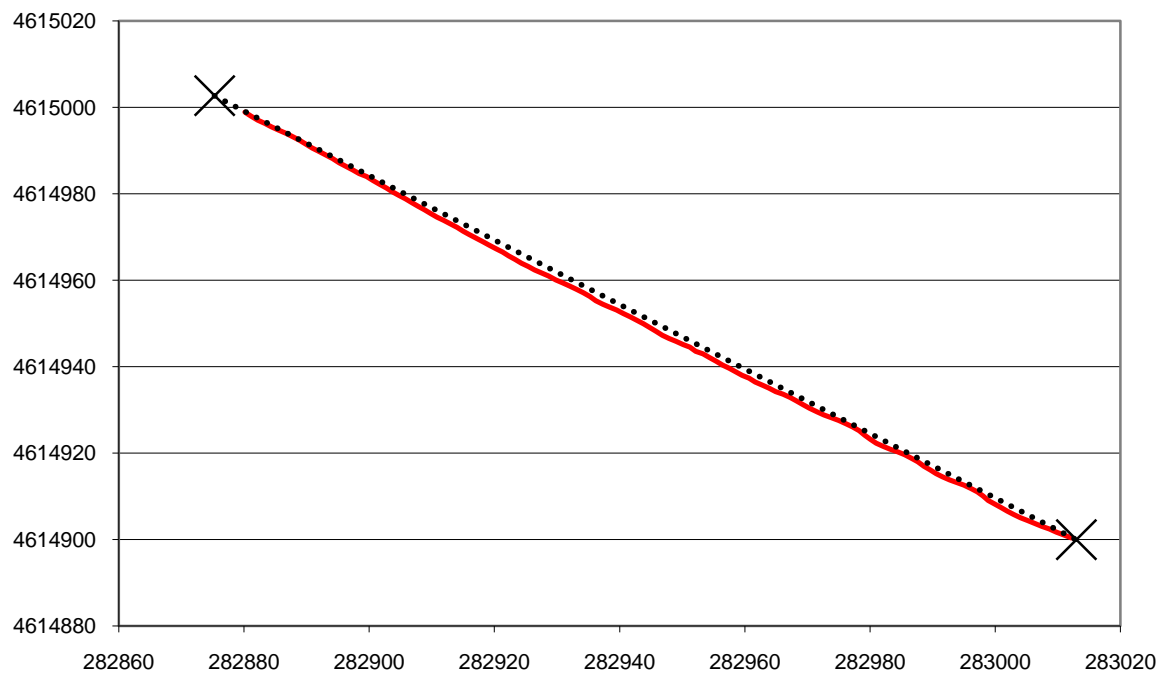


Figura 5.62: Gràfic representant la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra camp (15122009\_RTK\_2TPR50A).

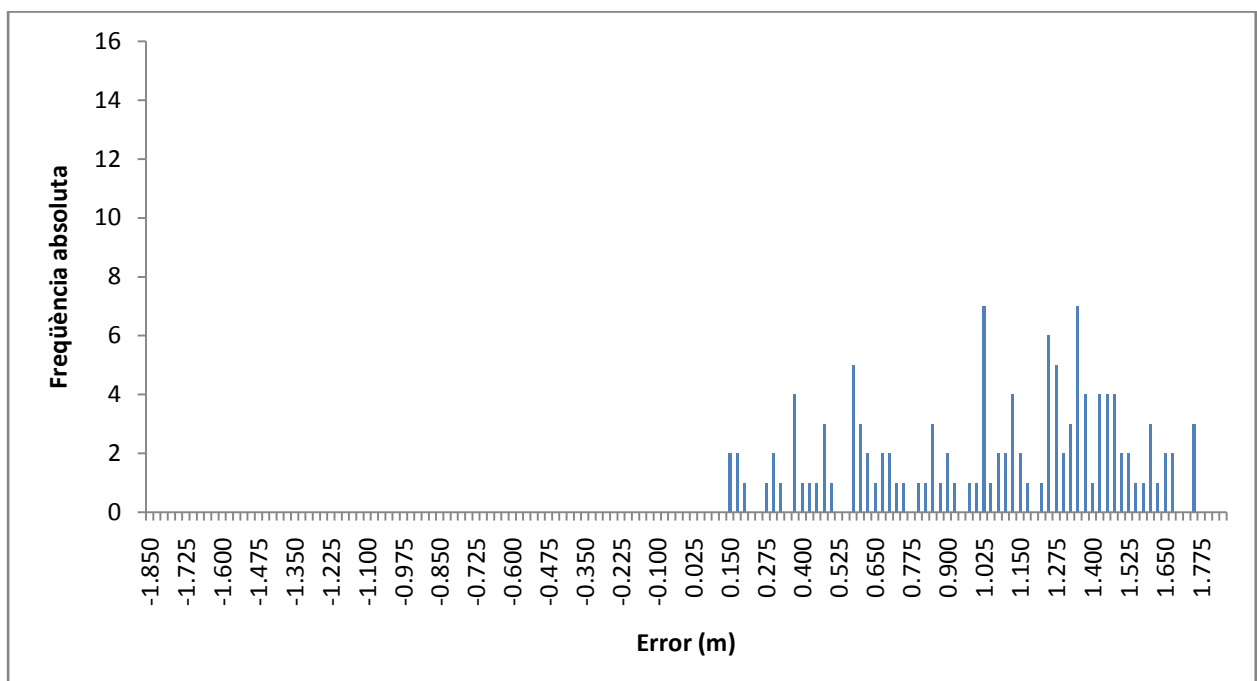


Figura 5.63: Histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra camp (15122009\_RTK\_2TPR50A).

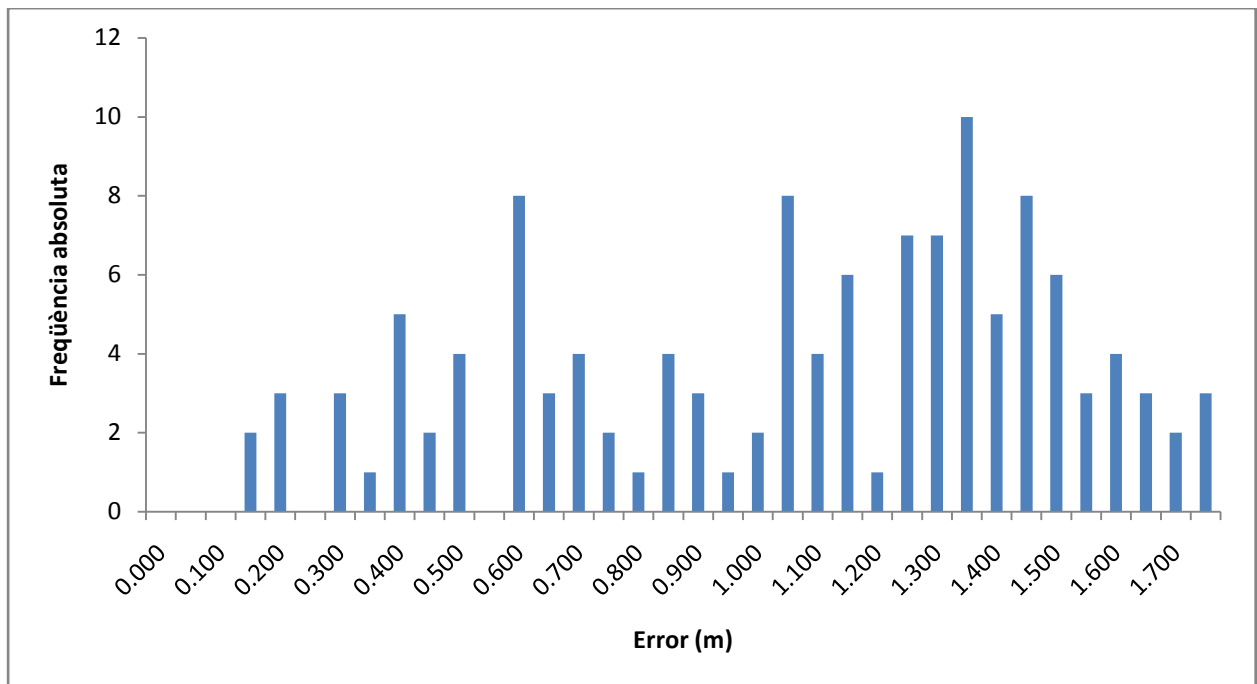


Figura 5.64: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la primera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR50A). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta.

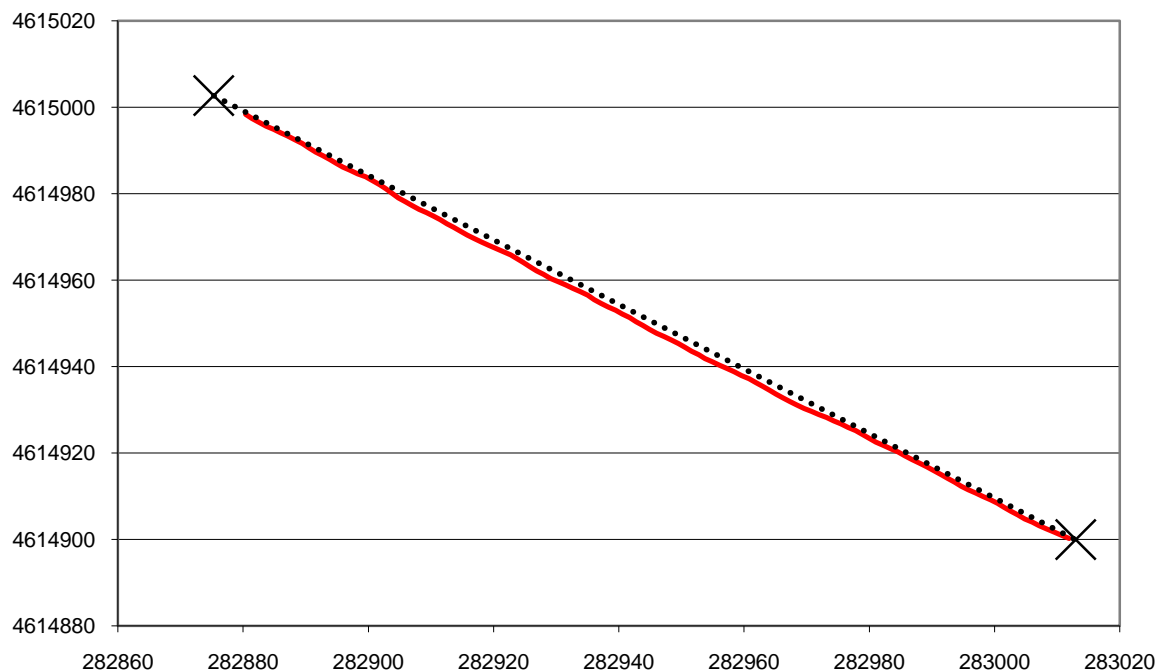


Figura 5.65: Gràfic representant la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR50B).

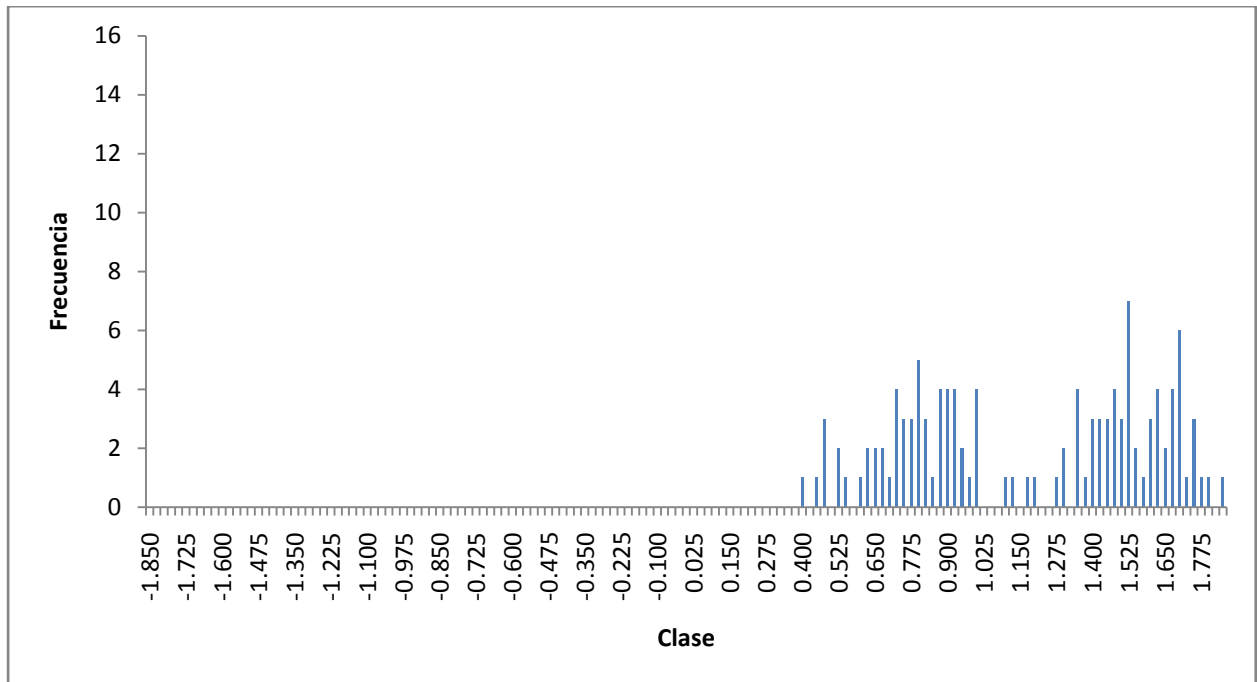


Figura 5.66: Histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR50B).

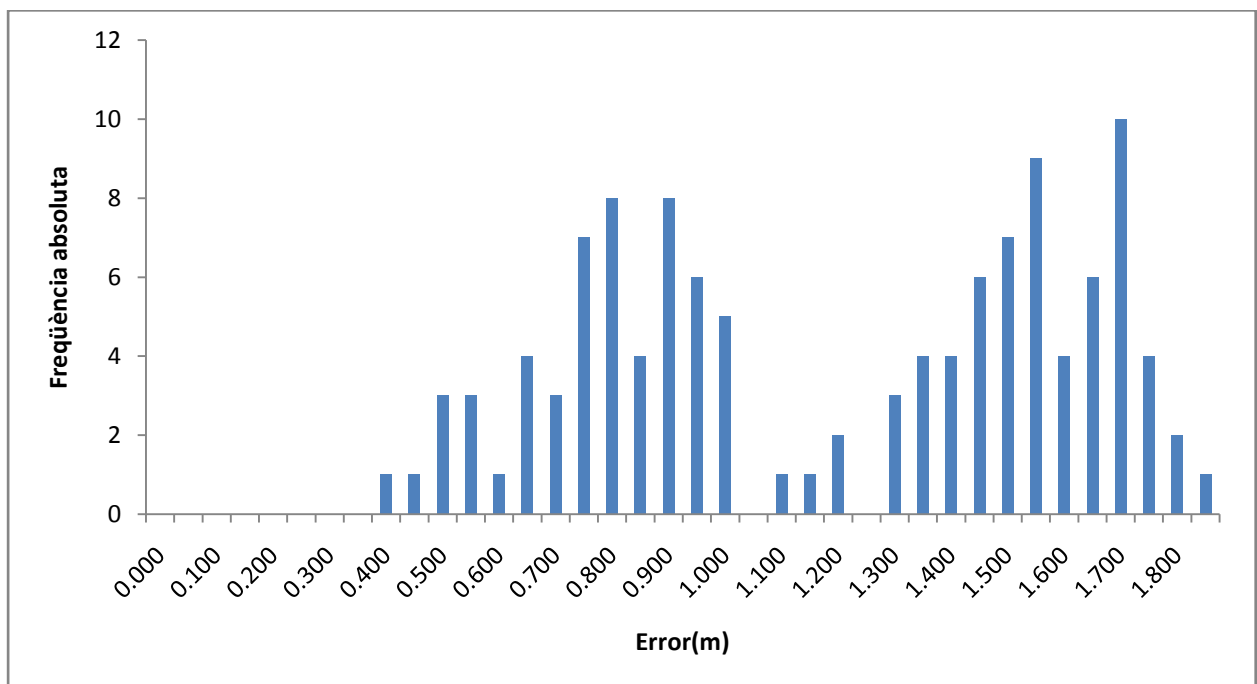


Figura 5.67: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la segona passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR50B). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta.



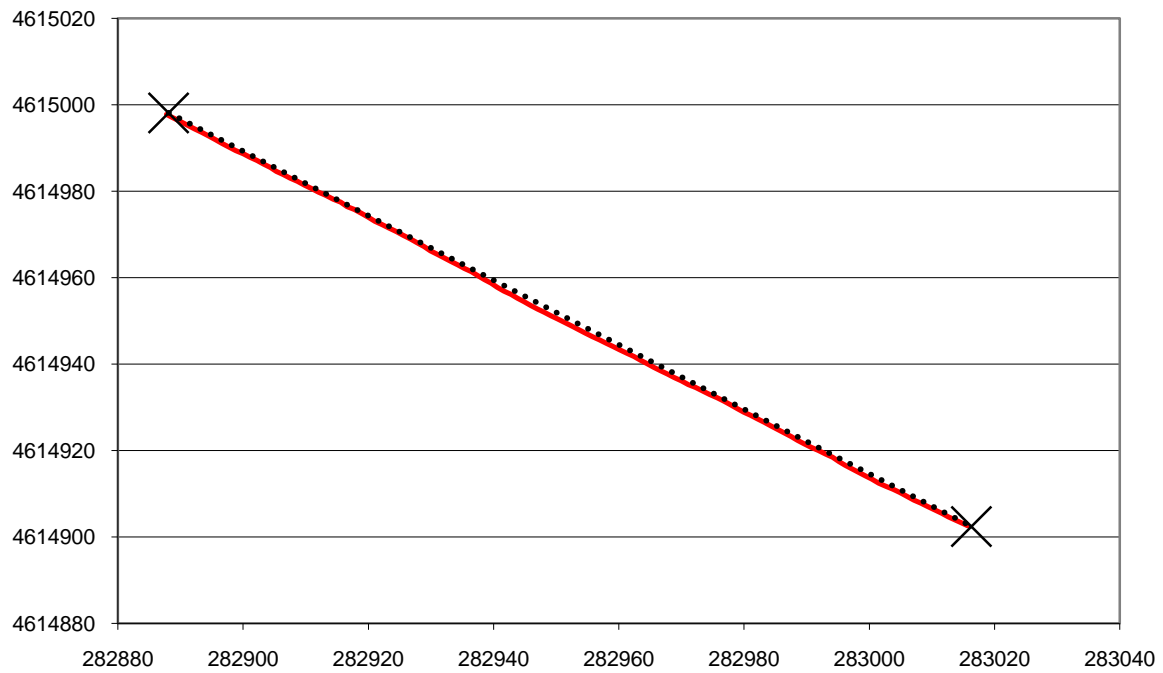


Figura 5.68: Gràfic representant la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR50CC).

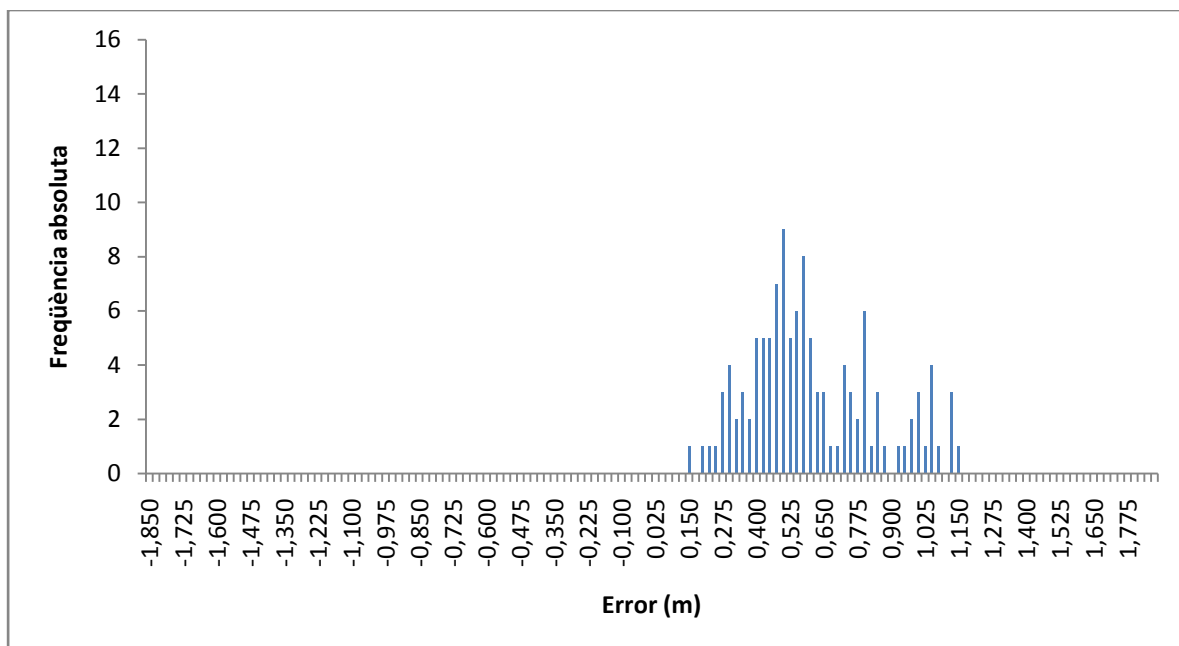


Figura 5.69: Histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR50CC).

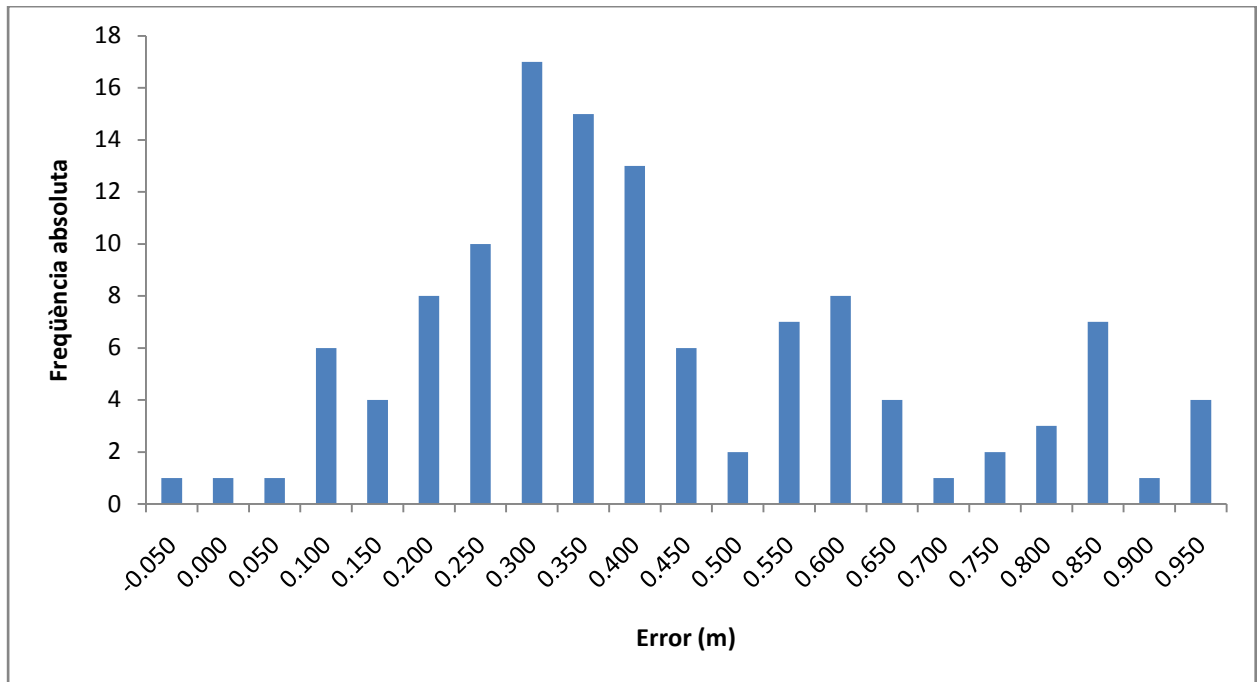


Figura 5.70: Detall de l'histograma absolut que representa les desviacions de la tercera passada de l'ajut al guiatge a 50 metres vista en terra campà (15122009\_RTK\_2TPR50CC). Aquí l'histograma absolut està descentrat cap a la dreta.

## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.17: Estadístics descriptius de les repeticions de la passada ajut al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2TPR50A	125	129.209	1.034 b	0.1883
15122009_RTK_2TPR50B	118	137.760	1.167 a	0.1707
15122009_RTK_2TPR50CC	118	70.100	0.594 c	0.0558

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.18: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a les repeticions de la passada ajut al guiatge a 50 metres vista de l'assaig de validació del sistema de guiatge.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	21.308	2	10.654	76.522	2.1431E-28	3.021
Dins dels grups	49.845	358	0.139			
Total	71.153	360				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica i la probabilitat és menor que el nivell de significació. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Com ja s'ha dit, la cabina del tractor anava oscil·lant d'un cantó a l'altre per la irregularitat del terreny.

Totes les passades són significativament diferent entre elles. Donat que la mitjana de la passada C és menor, es pot dir que la passada 2TPR50CC ha estat la més precisa. Cal dir que com a conseqüència d'un salt, es va realitzar la passada 2TPR50CC per una zona on només s'hi havia passat una vegada. Per tant el terreny no presentava tantes roderes i era menys irregular. Donant lloc a una millor precisió pel decrement de les oscil·lacions de la cabina del tractor.

L'explicació de la correcció feta a la passada C és degut a un salt en la posició de referència del GPS de l'ordre de 5 metres. La correcció ha estat realitzada a posteriori utilitzant els registres de posició que emmagatzema el programa i corregint els paràmetres de la recta passada ideal amb la diferència en la posició de les estakes.

Es pot dir que el guiatge amb la correcció a 50 metres vista no és prou fiable per a l'ajut al guiatge perquè la precisió aconseguida és molt variable i depèn de cada passada.

Anàlisi conjunta de resultats

## ANOVA

Hipòtesi nul·la: totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Hipòtesi alternativa: no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles.

Taula 5.19: Estadístics descriptius de totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge a la terra campà.

<i>Grups</i>	<i>Observacions</i>	<i>Suma (m)</i>	<i>Mitjana (m)*</i>	<i>Variància (m<sup>2</sup>)</i>
15122009_RTK_2TPCA	122	11,008	0,090 f	0,0045
15122009_RTK_2TPCB	122	53,139	0,436 de	0,0334
15122009_RTK_2TPCC	123	56,695	0,461 de	0,0363
15122009_RTK_2TPR10A	122	63,446	0,520 cd	0,0646
15122009_RTK_2TPR10B	121	49,195	0,407 e	0,0989
15122009_RTK_2TPR10CC	128	32,453	0,254 f	0,0296
15122009_RTK_2TPR50A	125	129,209	1,034 b	0,1883
15122009_RTK_2TPR50B	118	137,760	1,167 a	0,1707
15122009_RTK_2TPR50CC	118	70,100	0,594 c	0,0558

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 5.20: Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzat a totes les passades de l'assaig de validació del sistema de guiatge a la terra campà.

<i>Origen de les variacions</i>	$\Sigma$ <i>de quadrats</i>	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Mitjana de quadrats</i>	<i>F</i>	<i>Probabilitat</i>	<i>Valor crític d'F</i>
Entre grups	116,669	8	14,584	193,152	6,2271E-203	1,947
Dins dels grups	82,298	1090	0,076			
Total	198,967	1098				

Cal rebutjar la hipòtesi nul·la ja que  $F > f$  crítica i la probabilitat és menor que el nivell de significació. És a dir, no totes les mostres d'errors no presenten diferències significatives entre elles. Això pot ser perquè es tracta de diferents sistemes de guiatge.

Les passades 2TPCA i 2TPR10CC són significativament diferents a la resta i són les més precises al pertànyer al grup "f" amb la mitjana d'error més petita. La correcció a 50 metres es pot descartar com a ajut al guiatge a la velocitat de l'assaig perquè totes les repeticions són significativament diferents a la resta a excepció de la 2TPR50C que no és significativament diferent a la repetició 2TPR10A. Les repeticions del guiatge a 10 metres vista i les del guiatge visual pertanyen als mateixos grups de mitjanes ("f", "e" i "d"). Per tant, tot i que no presenten una bona repetibilitat, les trajectòries traçades a 10 m són les que s'assemblen més a les visuals.

# Conclusions



## 6. Conclusions

Quant a la millora del programa de monitoratge:

Les millores realitzades en el funcionament del programa són satisfactòries a l'haver millorat significativament el rendiment, la fiabilitat i la usabilitat del programa.

Quant a la caracterització del receptor:

Els resultats obtinguts són satisfactoris per a l'estudi. La precisió del senyal és bona en totes les correccions, doncs la variació del posicionament de les lectures es més petita que la teòrica per a cada tipus de correcció diferencial. A excepció de la no correcció perquè no hi ha una teòrica citada pel fabricant (Trimble. 2005). Pel que fa a l'exactitud en el posicionament, el senyal Omnistar no es pot considerar bo perquè es surt del rang teòric; és la segona lectura del dia 26 de juny la que ho provoca. S'ha repassat les dades i parlat amb tècnics d'Omnistar i no s'ha trobat cap anomalia.

S'ha de destacar que s'aprecien considerables variacions en el posicionament quan s'interromp la recepció del senyal desconnectant el sistema i tornant-lo a connectar en un altre moment. Fet que provoca la major part del descens de la repetibilitat de les correccions. Mentre es realitzava l'estudi es va observar que hi havia més dispersió en períodes de més de 5 minuts (observant unes 3 hores seguides), però significativament inferior a la dispersió obtinguda connectant i desconnectant el sistema.

Es pot afirmar que la correcció més precisa que ofereix l'aparell AgGPS 332 de Trimble és la correcció de l'IRW proporcionada via Internet per l'ICC seguida per la d'Omnistar. La correcció de l'IRW és més precisa quan el senyal pren com a base l'estació de Lleida que quan calcula la base virtual d'ubicació desconeguda. Això era d'esperar pel mecanisme de les correccions diferencials. A més proximitat de l'estació de referència a la ubicació del receptor del SSNG millor correcció potencial es pot obtenir. La correcció menys precisa és la senyal sense correcció diferencial, seguida per la senyal Egnos.

Quant al mòdul d'ajut al guiatge:

En plantacions fruïteres, el guiatge visual sense ajut al guiatge va molt bé degut a les referències visuals dels arbres i la millor opció d'ajut al guiatge és la correcció a 10 metres vista. A la velocitat de l'assaig de validació del sistema de guiatge (5 km/h), es poden descartar les correccions a 3 metres i a 50 metres. La correcció a 10 metres pot ajudar al tractorista en situacions de mala visibilitat i en jornades llargues on la fatiga influeixi en la precisió de la conducció.

En parcel·les sense arbrat amb irregularitats en el terreny, com a la terra campa, i amb el receptor actual, el millor guiatge s'assoleix amb el guiatge visual conjuntament amb la correcció a 10 metres i per tant, es poden considerar equivalents. Donat que durant l'assaig de validació del sistema de guiatge, en tot moment hi havia les estakes clavades a terra com a referència, el tractorista es podia guiar en una parcel·la nua. Es pot dir que els bons resultats es poden atribuir a aquest fet. Per tant, si les condicions meteorològiques són bones i es tenen referències visuals, és difícil millorar el guiatge visual ja que els humans som un sistema amb milions d'anys d'evolució i de perfeccionament. Per un costat no es millora el guiatge visual però tampoc s'empitjora. Llavors, en situacions on manqui aquesta referència visual, en situacions de mala visibilitat (boira, condicions lumíniques baixes, etc.) o el tractorista estigui fatigat, la correcció a 10 metres vista pot substituir o complementar al guiatge visual.

El mòdul d'ajut al guiatge pot ser vàlid per al guiatge en qualsevol vehicle autònom. Però s'hauria d'incorporar un sistema que permeti mesurar la inclinació de l'antena del receptor per a corregir la posició quan el tractor travessa irregularitats en el terreny. També s'hauria de realitzar més proves a diferents velocitats per a valorar si la velocitat influeix en la distància de la correcció. En cas afirmatiu, convindria establir la millor correlació entre la velocitat i la distància de correcció de la trajectòria.

Deixant de banda les limitacions del receptor, el mòdul d'ajut al guiatge és vàlid per a guiar al maquinista durant les tasques que permetin realitzar feines en línia recta, ja que és capaç d'aconseguir passades tan precises com les visuals en cadascuna de les seves variants. Cal dir que, en plantacions fruiteres, les files d'arbres proporcionen bones referències visuals i faciliten el guiatge sense ajudes. En un vehicle autònom, sense conductor, es pot suposar que el sistema d'ajut al guiatge a 10 m vista donaria un bon resultat.

Cal dir que el sistema d'ajut al guiatge té l'inconvenient de que el tractorista necessita unes sessions d'aprenentatge per a familiaritzar-se amb el sistema d'ajut al guiatge, així com per a aprendre a realitzar els girs més fidelment a la barra de llums i una alta velocitat de reacció.

És molt probable que els resultats del sistema d'ajut al guiatge fossin millors si s'actualitzés amb un sistema d'autoguiatge que permetés realitzar una conducció totalment automatitzada. D'aquesta manera, s'eliminaria la participació de l'operari i la resposta del tractor seria més ràpida i precisa.

# Futurs desenvolupaments





## 7. Futurs desenvolupaments

- Implementar l'ajut al guiatge permetent guiar en corbes, pivots i qualsevol camí.
- Millorar el sistema de "memòria" de l'ajut al guiatge. Per exemple, si en una passada hi ha una modificació permanent de la trajectòria a l'hora de fer les paral·leles, que es permeti mantenir aquesta variació.
- Implementar l'ajut al guiatge amb un servo per a obtenir un sistema d'autoguiatge.
- Poder recuperar i visualitzar tracks anteriors i el quadre resum de dades.
- Poder importar tracks i waypoints aliens i solapar amb els punts adquirits. Per exemple el contorn de la parcel·la, les fileres d'arbres, obstacles, etc.
- Poder importar i superposar ortofotomapes i altres utilitats de georeferenciació tipus CompeGPS.
- Avisar de solapaments de feines tenint en compte l'amplada de treball.
- Afegir un mòdul per a l'optimització de recorreguts.
- Afegir LIDAR per a detecció d'obstacles per a quan estigui operatiu l'autoguiatge (determinació de trajectòries).
- Incorporar visió artificial per a detecció d'obstacles per a quan estigui operatiu l'autoguiatge (determinació de trajectòries).
- Estudiar la interacció amb arres enganxats al tractor (ISOBUS CAN).
- Capacitar el programa per a poder assumir diferents amplades de treball durant el guiatge sense modificar les amplades de les fileres ja establertes.
- Agilitzar el reconeixement de la passada inicial per a que sigui instantani o durant un o dos temps d'execució.
- Si es troba una relació entre la velocitat d'avanç i la millor distància de correcció de la trajectòria, afegir el patró de correlació entre la velocitat d'avanç i la distància de correcció per a que es determini la distància a corregir en funció de la velocitat de forma automàtica.

# Referències bibliogràfiques



## 8. Referències bibliogràfiques

**AG LEADER TECHNOLOGY.** 2009. Catálogo de productos 2010 [en línia el 02/07/2010]. Disponible a: <http://www.agleader.com/docs/product-catalog-2010-spanish.pdf>.

**AG LEADER TECHNOLOGY.** 2009. Guidance patterns [en línia el 24/07/2010]. Disponible a: <http://www.agleader.com/products/guidance/guidance-patterns/>.

**AG LEADER TECHNOLOGY.** 2009. Products [en línia el 02/07/2010]. Disponible a: <http://www.agleader.com/products/guidance/>.

**ALONSO, M.** 2005. Diseño de redes de observación y predicción espacial: aplicaciones en agricultura de precisión (TFC) [en línia el 24/07/2010]. Departamento de economía y ciencias sociales agrarias de la Universidad Politécnica de Madrid. Disponible a: [http://www.etsia.upm.es/ANTIGUA/PERSONAL/ambrosio\\_luis/documentos/TFC%20DISE%C3%91O%20REDES%20aplicaciones%20en%20AP.pdf](http://www.etsia.upm.es/ANTIGUA/PERSONAL/ambrosio_luis/documentos/TFC%20DISE%C3%91O%20REDES%20aplicaciones%20en%20AP.pdf).

**ALVAS, H.** 2006. Kruger-1 [en línia el 01/09/2008]. Disponible a: <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/agritaller/kruger.xls>.

**BADDELEY, G.** 2009. Glenn Baddeley - GPS - NMEA sentence information [en línia el 12\_02\_2010]. Disponible a: <http://home.mira.net/~gnb/gps/nmea.html>.

**BALDOMÀ, F.X.** 2006. Implementació i avaluació d'un sistema de guiatge assistit per GPS per a tractors i maquinària agrícola. Treball pràctic tutorat per a l'obtenció del títol d'Enginyer Agrícola. Universitat de Lleida.

**BNET.** 2000. Datum Products Excel with U.S. Decision to Eliminate Degradation of GPS Signals. Business Services Industry [en línia el 01/09/2008]. Disponible a: [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0EIN/is\\_2000\\_June\\_23/ai\\_62889646](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0EIN/is_2000_June_23/ai_62889646).

**BRADLEY, A.** 2008. Ordenadores industriales con pantalla integrada [en línia el 08/09/2010]. Rockwell Automation. Disponible a: [http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/6181p-um002\\_-es-p.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/6181p-um002_-es-p.pdf).

**BRAGACHINI, M.; MÉNDEZ, A.** 2006. 6º Curso Internacional de Agricultura de Precisión & 1ª Expo de Máquinas Precisas [en línia el 28/01/2009]. Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi. Disponible a: <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/6toCursoAgPrec.htm>.

**CARRETERO, J.** 2007. Productividad, Proceso y Mejora. Universidad Pro Desarrollo de México (UPRO) [en línia el 12/04/2010]. Disponible a: [http://uproprod.blogspot.com/2007\\_08\\_01\\_archive.html](http://uproprod.blogspot.com/2007_08_01_archive.html).

**CREAF.** 2008. [en línia el 01/09/2008]. Disponible a: [http://www.creaf.uab.es/MiraMon/what\\_mm/leaflet/Triptic07-2008CATMidaReduida.pdf](http://www.creaf.uab.es/MiraMon/what_mm/leaflet/Triptic07-2008CATMidaReduida.pdf).

**DIGGELEN, F.** 2007. GNSS Accuracy: Lies, Damn Lies, and Statistics [en línia el 08/09/2010]. Disponible a: <http://www.gpsworld.com/gps-world-author/frank-van-diggelen-462>.

**DIVERSOS AUTORS.** Diversos articles [en línia el 02/07/2010]. Disponibles a: <http://www.agriculturadeprecision.org/>.

**DIVERSOS AUTORS.** Diversos articles i foros [en línia el 24/07/2010]. Disponible a: <http://www.ni.com/es/>.

**FLORES JIMÉNEZ, A.** 2000. Atmospheric Tomography Using Satellite Radio Signals. Tesi Doctoral del departament de Teoria del senyal i comunicacions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

**Galbiati, J.** 2006. Distribucion F de Snedecor [en línia el 08/09/2010]. Disponible a: [http://www.jorgegalbiati.cl/nuevo\\_06/Fsned.pdf](http://www.jorgegalbiati.cl/nuevo_06/Fsned.pdf).

**GARCÍA-ASENJO, L.; HERNÁNDEZ, D; LLÁCER, C.** 2004. Correcciones geodésicas sobre trabajos topográficos ( I ) [en línia el 01/09/2008]. VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía TOPCART 2004. Disponible a: <http://www.cartesia.org/article.php?sid=193>.

**GEODESIA.** 2008. Ajuste de la Red Geodésica de España (ROI) en ETRS89 [en línia el 01/09/2008]. Disponible a: <http://www.cartesia.org/articulo403.html>.

**GILBERT, C.** 2003. How is the accuracy of a gps receiver described [en línia el 23/07/2010]. Road Measurement data Acquisition System. Disponible a: <http://www.romdas.com/technical/gps/gps-acc.htm>.

**HEIMLICH, R.** 1998. Precision Agriculture: Information Technology for Improved Resource Use [en línia el 13/09/2010]. Perspectives de l'Agricultura de l'abril de 1998. Recursos del Medi Ambient i del Servei d'Investigació Econòmica de l'USDA. Disponible a: <http://www.ers.usda.gov/publications/agoutlook/apr1998/ao250f.pdf>.

**HOLANDA, M<sup>o</sup> P.; BERMEJO, J.C.** 1998. GPS & GLONASS: DESCRIPCIÓN Y APLICACIONES [en línia el 02/07/2010]. Disponible a: <http://www.danotario.com/manuales/gpsglonass.pdf>.

**ICC.** 1997. Memòria de l'Institut Cartogràfic de Catalunya 1996 [en línia el 01/09/2008]. Institut Cartogràfic de Catalunya del Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. Disponible a: [http://www.icc.es/pdf/ca/common/icc/publicacions\\_icc/memories/memoria\\_1996.pdf](http://www.icc.es/pdf/ca/common/icc/publicacions_icc/memories/memoria_1996.pdf).

**JOHN DEERE.** 2008. Sistemas de guiado [en línia el 28/01/2009]. Disponible a: [http://www.deere.com/es\\_ES/agriculture/ams/guidance\\_systems/index.html](http://www.deere.com/es_ES/agriculture/ams/guidance_systems/index.html).

**JOHN DEERE.** 2008. Monitores GreenStar 2100 y 2600 [en línia el 28/01/2009]. Disponible a: [http://www.deere.com/es\\_ES/agriculture/ams/new\\_monitors.html](http://www.deere.com/es_ES/agriculture/ams/new_monitors.html).

**LEICA.** 2010. LEICA GPS1200 [en línia el 02/07/2010]. Disponible a: [http://www.instop.es/gps/gps\\_1200.php](http://www.instop.es/gps/gps_1200.php).

**MASSEY FERGUSON.** 2010. NEWS@MF N<sup>o</sup> 32 [en línia el 23/09/2010]. Disponible a: <http://viewer.zmags.com/publication/6f03d2a8#/6f03d2a8/1>

**MITSUBISHI ELECTRIC.** 2007. El libro de la automatizació. Un mundo lleno de soluciones [en línia el 08/09/2010]. IDC Tecnología. Disponible a: [http://www.idc.es/ordenadores\\_industriales.asp](http://www.idc.es/ordenadores_industriales.asp).

- OCAÑA, F.** 2004. Cuantiles de la distribución F-snedecor [en línia 08/09/2010]. Universidad de Granada (ugr). Disponible a: <http://www.ugr.es/~focana/dstat/FSnedecor.pdf>.
- ORTIZ, G.** 2004. Conversión de datum con el modelo de 7 parámetros Bursa-Wolf [en línia el 01/09/2008]. Disponible a: <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=064>.
- ORTIZ, G.** 2005. Aprende a convertir coordenadas geográficas en UTM y UTM en geográficas [en línia el 01/09/2008]. Disponible a: <http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=058a>.
- ORTIZ, G.** GeoTrans Geographic Translator [en línia el 01/09/2008]. Disponible a: <http://recursos.gabrielortiz.com/>.
- ROMERO, E.** 2005. Tecnologías GPS aplicadas a la agricultura de precisión y diseño y desarrollo de un módulo prototipo de enseñanza-aprendizaje para la ingeniería agrónoma. Projecte Final de Carrera per a l'obtenció del títol d'Enginyer Agrònom. Universitat de Lleida.
- TALAYA LÓPEZ, J.** 2003. Algorithms and Methods for Robust Geodetic kinematic Positioning [en línia el 16/09/2010]. Tesi Doctoral del departament de matemàtiques i estadística de la Universitat Politècnica de Catalunya. Disponible a: [http://www.tesisenxarxa.net/TDX/TDX\\_UPC/TESIS/AVAILABLE/TDX-0222107-131430//01Jtl01de01.pdf](http://www.tesisenxarxa.net/TDX/TDX_UPC/TESIS/AVAILABLE/TDX-0222107-131430//01Jtl01de01.pdf).
- TOLEDO MOREO, R.** 2006. Un sistema de navegación de alta integridad para vehículos en entornos desfavorables. Tesi Doctoral del departament d'Enginyeria de la Informació i les Comunicacions de la Universitat de Murcia.
- TOPCON.** System 150 [en línia el 02/07/2010]. Topcon Positioning Systems, Inc.. Disponible a: <http://www.topconpa.com/products/guidance-systems/system-150>.
- TRIMBLE.** 2005. AgGPS® 332 GPS Receiver [en línia el 06/07/2010]. Trimble Navigation Limited. Disponible a: [http://www.agritronic.net/manuali\\_cat/AgGPS332\\_100A\\_UserGde\\_ENG.pdf](http://www.agritronic.net/manuali_cat/AgGPS332_100A_UserGde_ENG.pdf).
- YOON, C.** 2009. GPS Position Accuracy Measures [en línia el 08/09/2010]. NovAtel. Disponible a: <http://www.novatel.com/assets/Documents/Bulletins/apn029.pdf>.





Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària



# ANNEXOS

**Creació d'un programa informàtic per al  
monitoratge dels paràmetres de treball i a l'ajut al  
guiatge d'un tractor agrícola.**

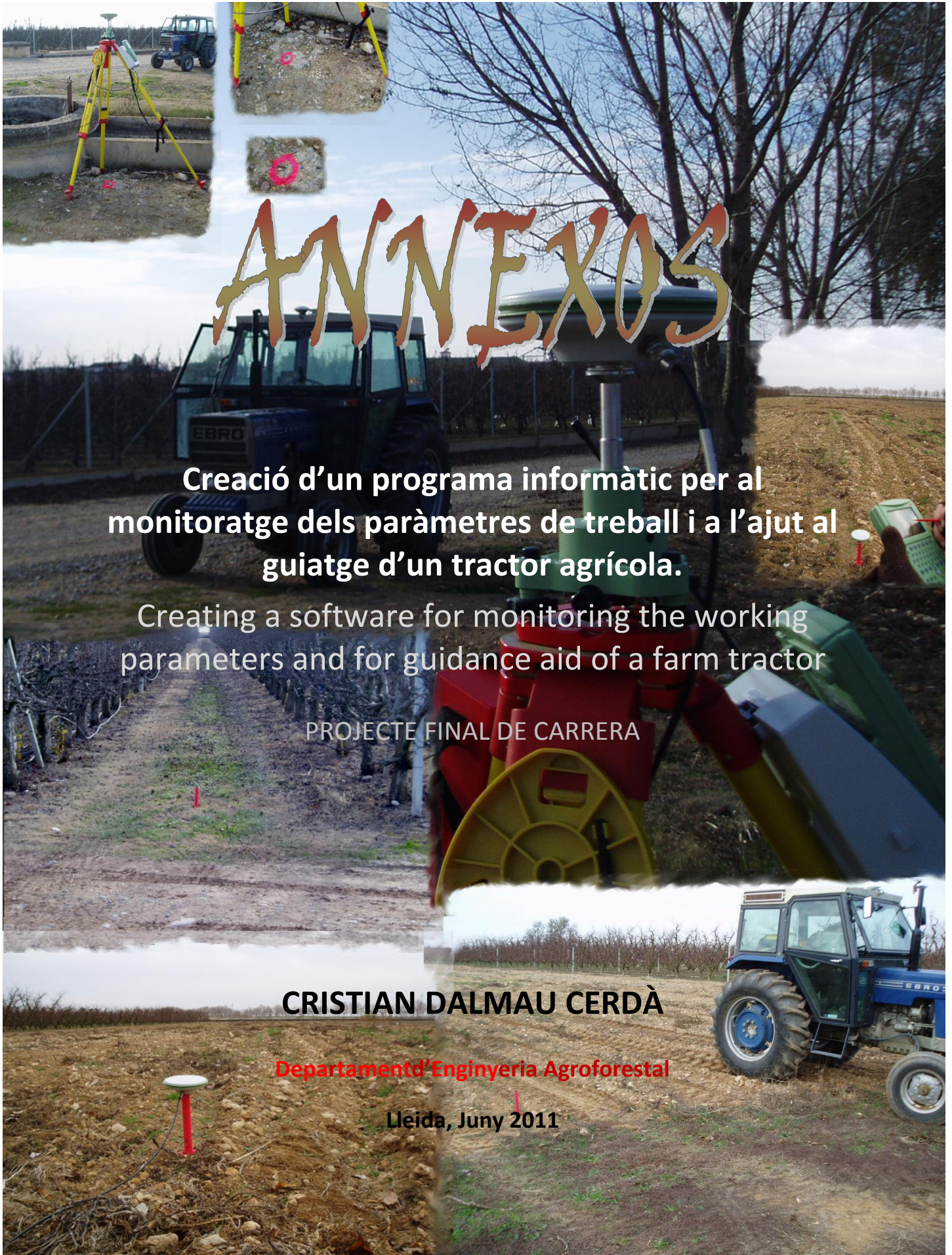
Creating a software for monitoring the working  
parameters and for guidance aid of a farm tractor

PROJECTE FINAL DE CARRERA

**CRISTIAN DALMAU Cerdà**

**Departament d'Enginyeria Agroforestal**

**Lleida, Juny 2011**







Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària



# ANNEXOS

**Creació d'un programa informàtic per al  
monitoratge dels paràmetres de treball i a l'ajut al  
guiatge d'un tractor agrícola.**

Creating a software for monitoring the working  
parameters and for guidance aid of a farm tractor

PROJECTE FINAL DE CARRERA

**CRISTIAN DALMAU CERDÀ**

**Departament d'Enginyeria Agroforestal**

Tutor: Alexandre Escolà i Agustí

Co-tutor: Joan Masip Vilalta

**Lleida, Juny 2011**

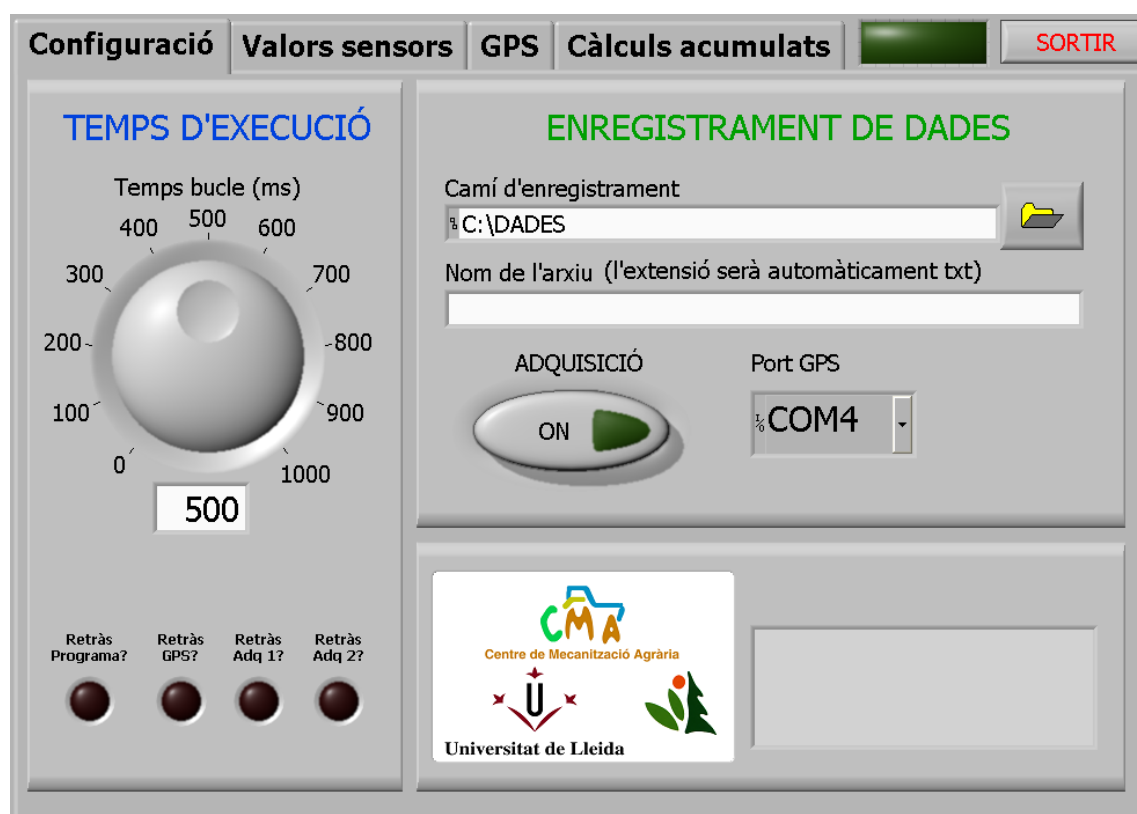
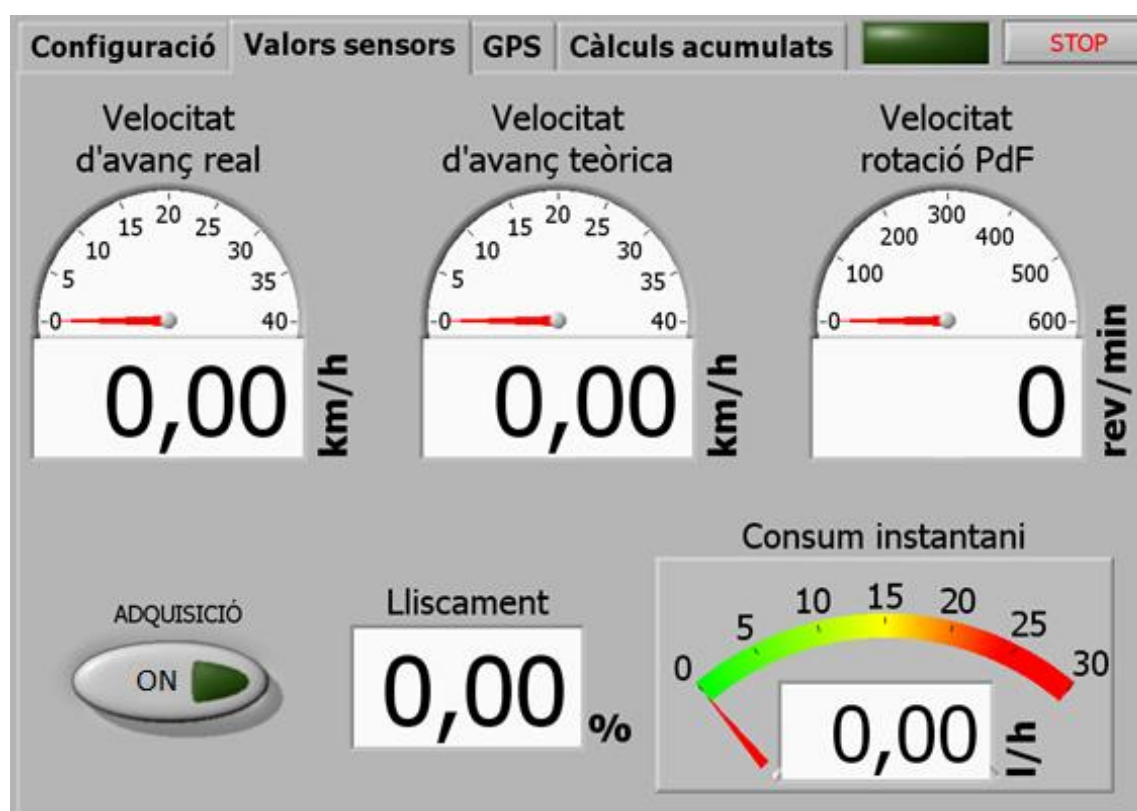




# Annexos



## Annex A: Figures corresponents a l'explicació del programa dissenyat

Figura A-1: Captura de pantalla corresponent a la pestanya *Configuració* del programa base.Figura A-2: Captura de pantalla corresponent a la pestanya *Valors sensors* del programa base.

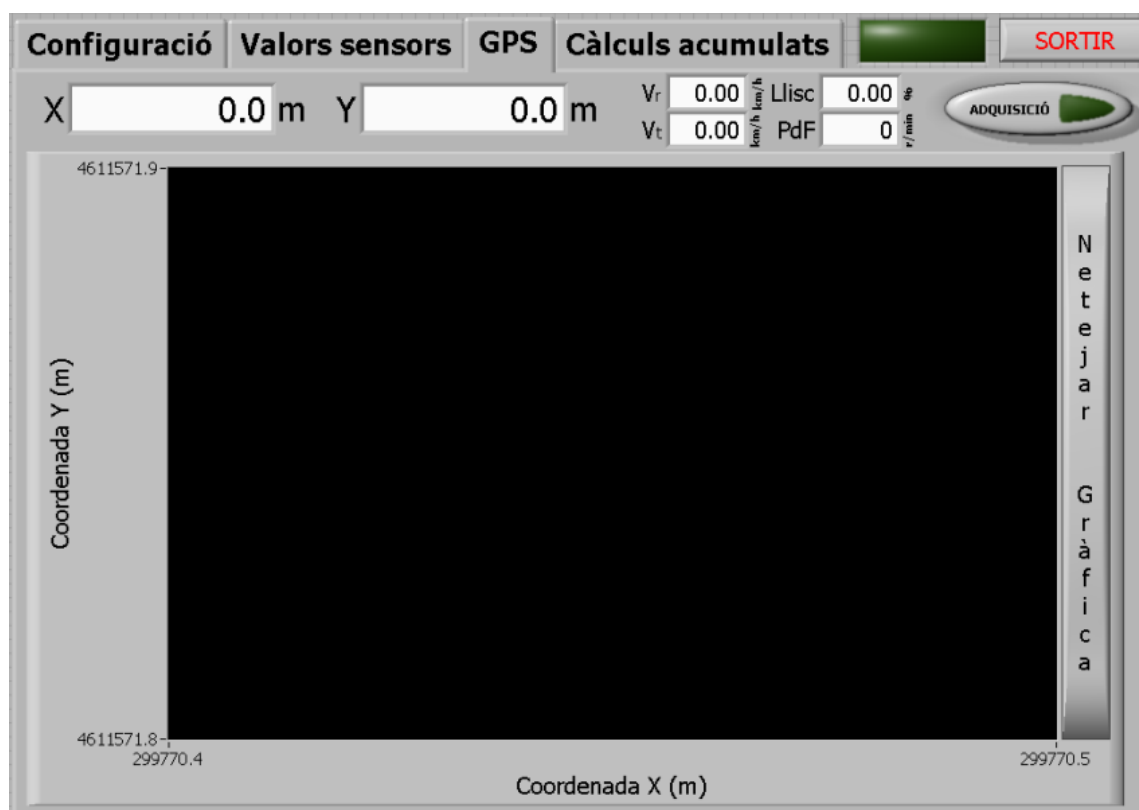


Figura A-3: Captura de pantalla corresponent a la pestanya GPS del programa base.

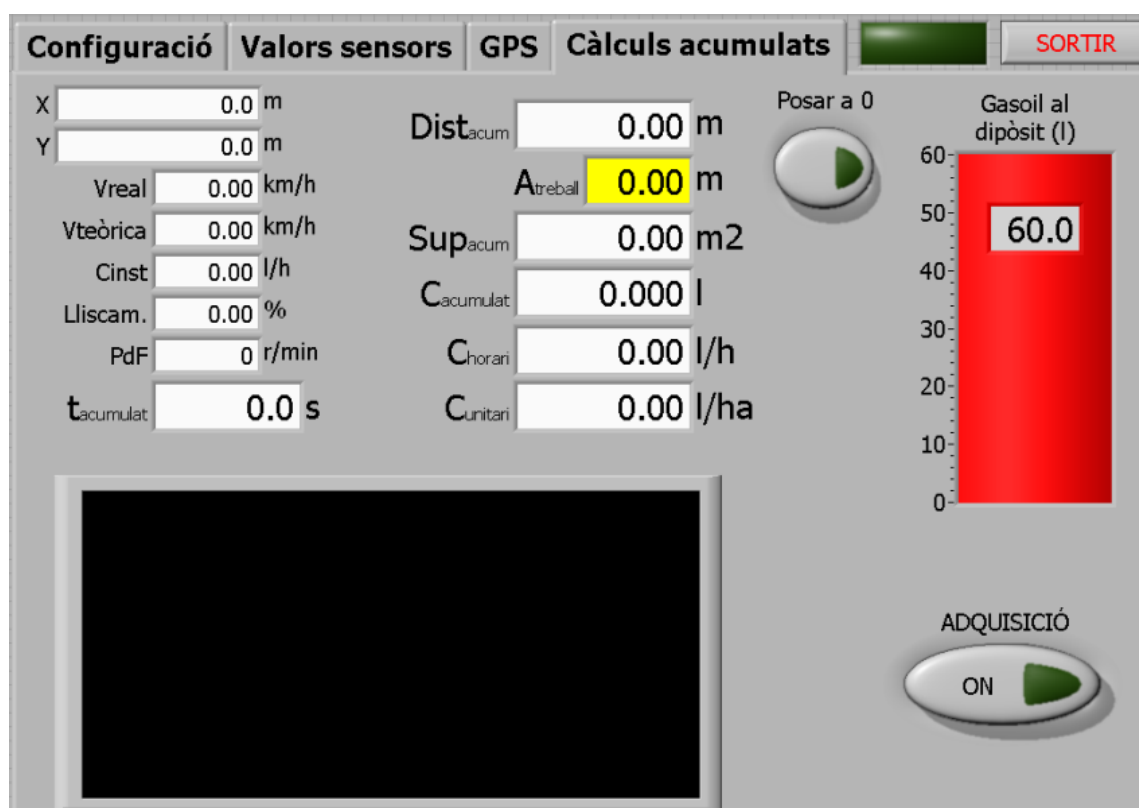


Figura A-4: Captura de pantalla corresponent a la pestanya Càlculs acumulats del programa base.



Figura A-5: Captura de pantalla corresponent a la pestanya *Configuració*.

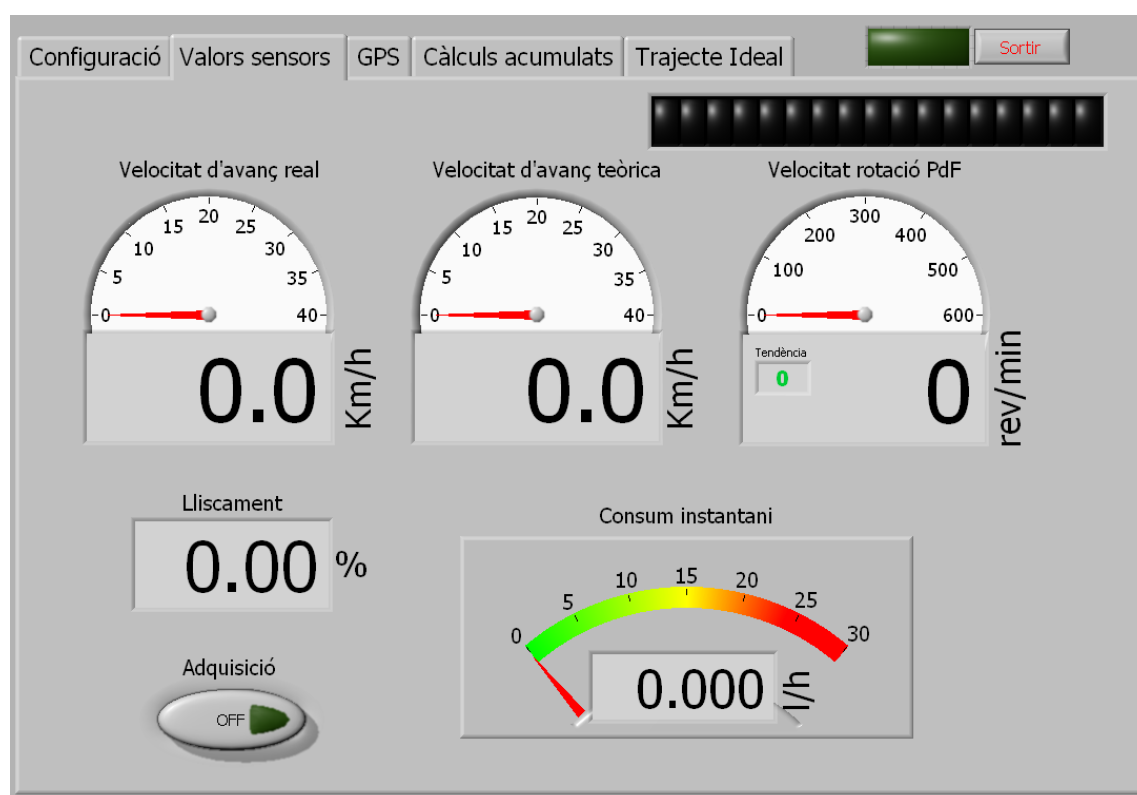


Figura A-6: Captura de pantalla corresponent a la pestanya *Valors sensors*.

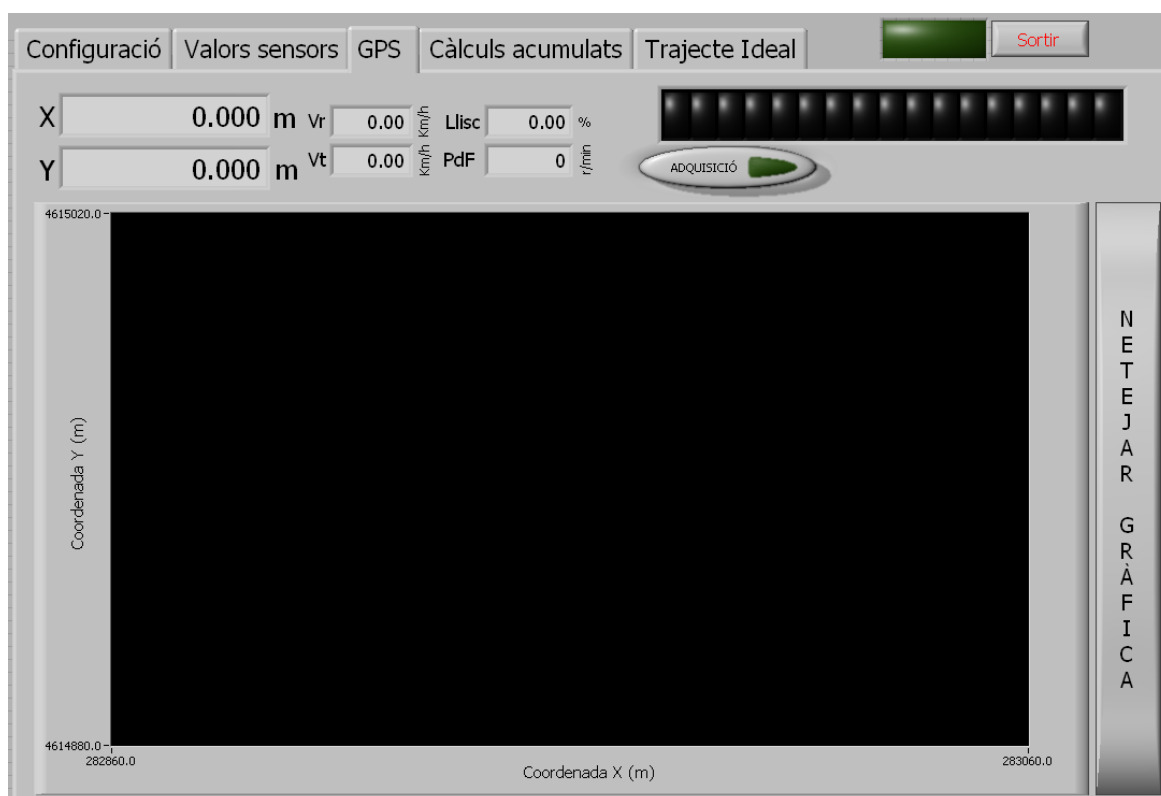


Figura A-7: Captura de pantalla corresponent a la pestanya GPS.

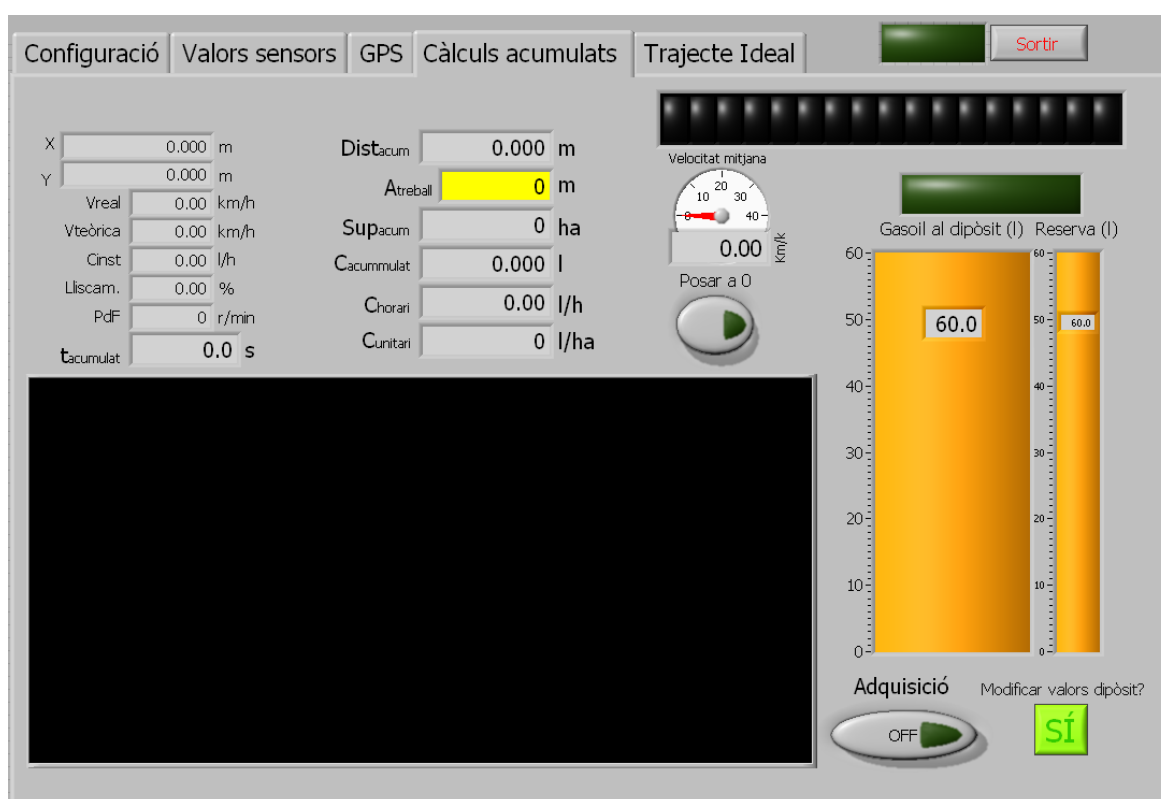


Figura A-8: Captura de pantalla corresponent a la pestanya Càlculs acumulats.



Figura A-9: Captura de pantalla corresponent a la pestanya *Trajecte ideal*, ajut al guiatge desactivat.



Figura A-10: Captura de pantalla corresponent a la pestanya *Trajecte ideal* quan s'està iniciant l'ajut al guiatge.



Figura A-11: Interfície per a la petició del temps d'execució.

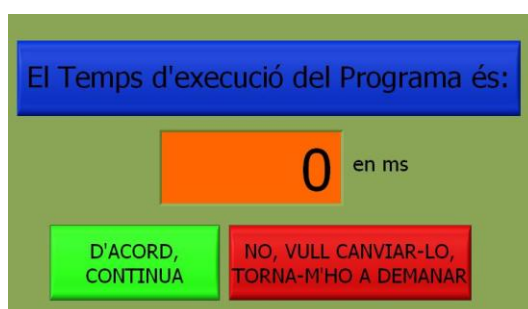


Figura A-12: Interfície per a la confirmació del temps d'execució.

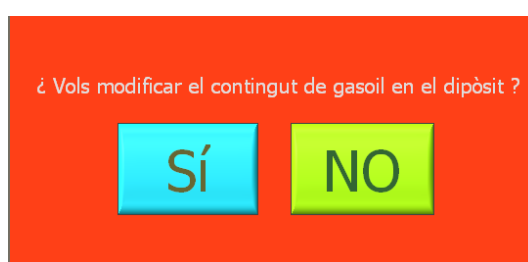


Figura A-13: Diàleg interrogatori per a modificar el nivell de gasoil al dipòsit de combustible del tractor.

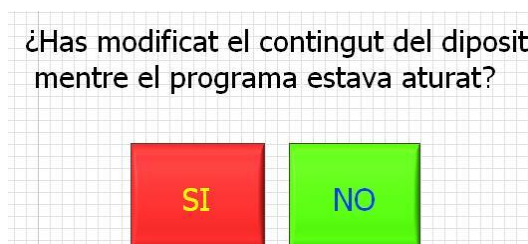


Figura A-14: Diàleg interrogatori per a confirmar que el tractor no ha funcionat amb el programa aturat.

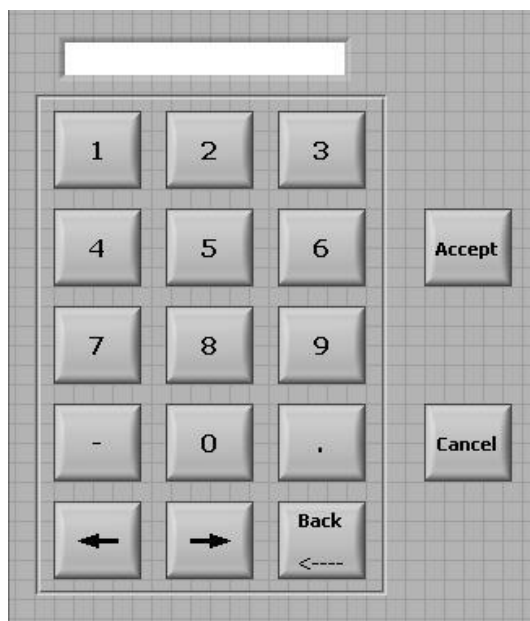


Figura A-15: Teclat numèric apte per a l'entrada de dades numèriques amb una pantalla tàctil. Aquest teclat apareix quan es selecciona un camp numèric.

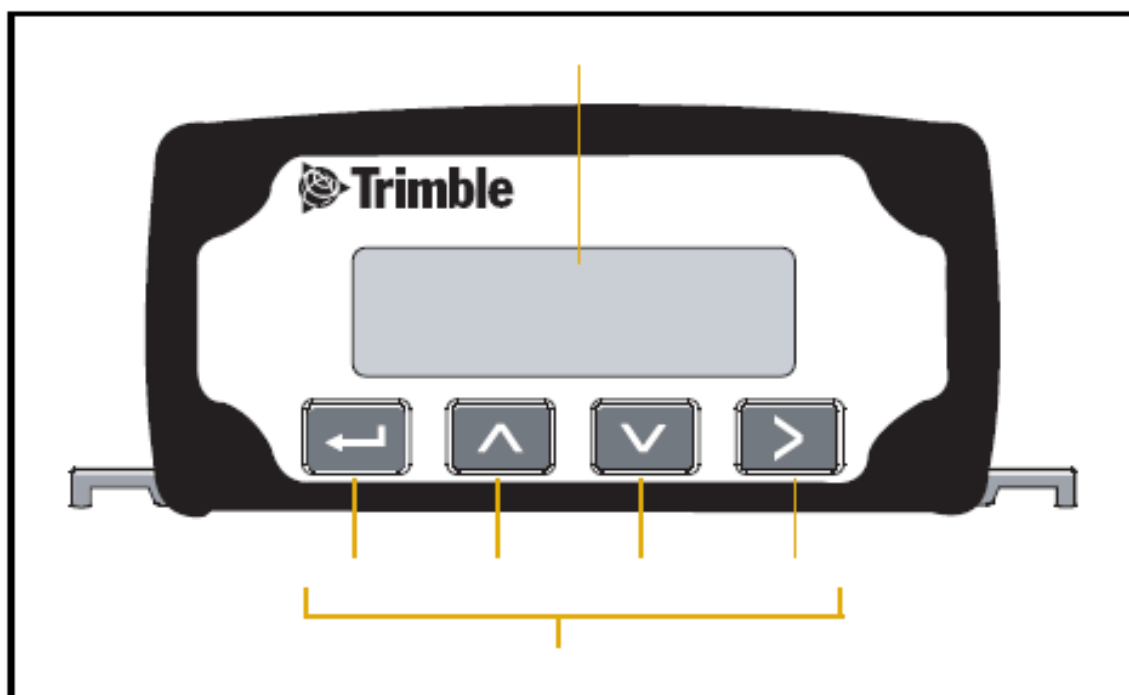


Figura A-16: Part frontal del receptor.



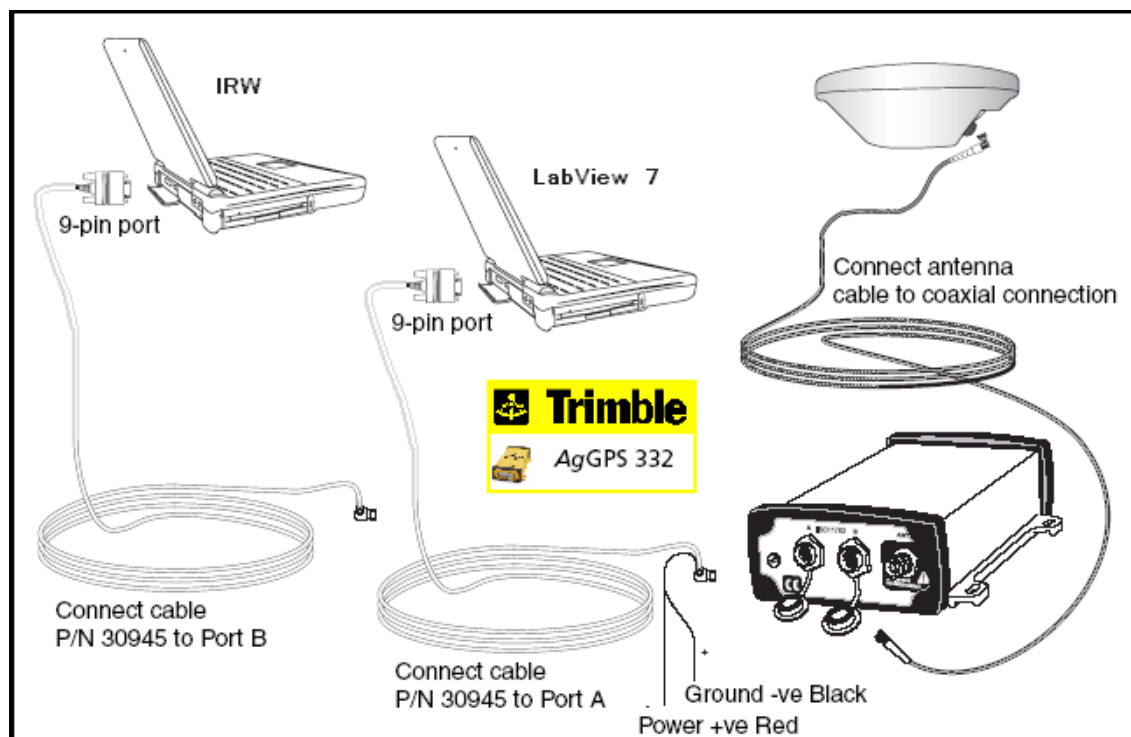


Figura A-17: Esquema de la connexió realitzada durant el treball mitjançant el cable d'alimentació i de dades.

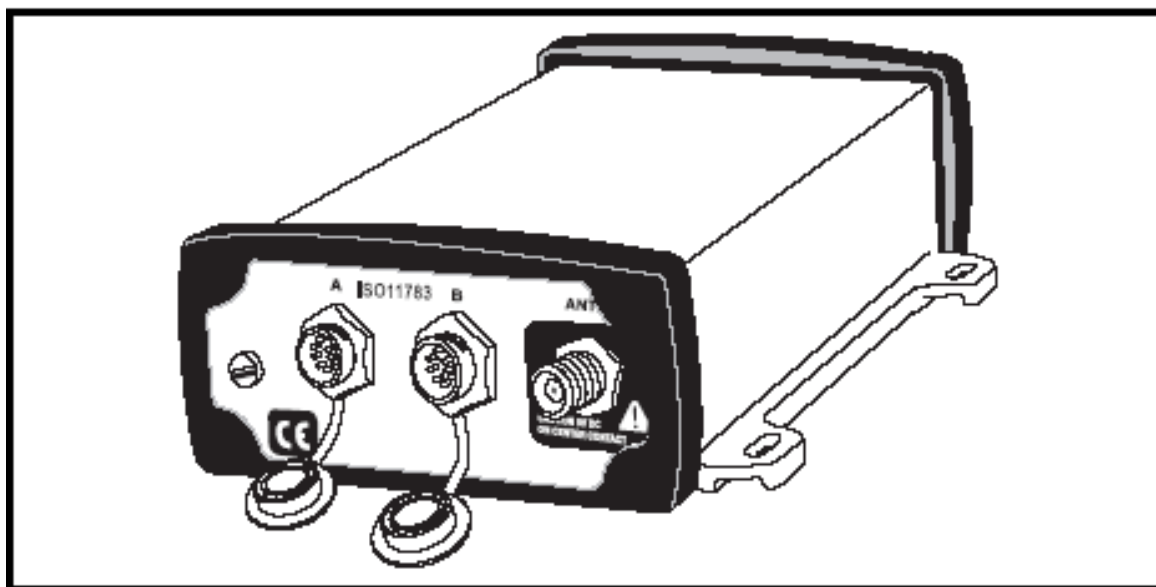


Figura A-18: Part posterior del receptor: Connexions.

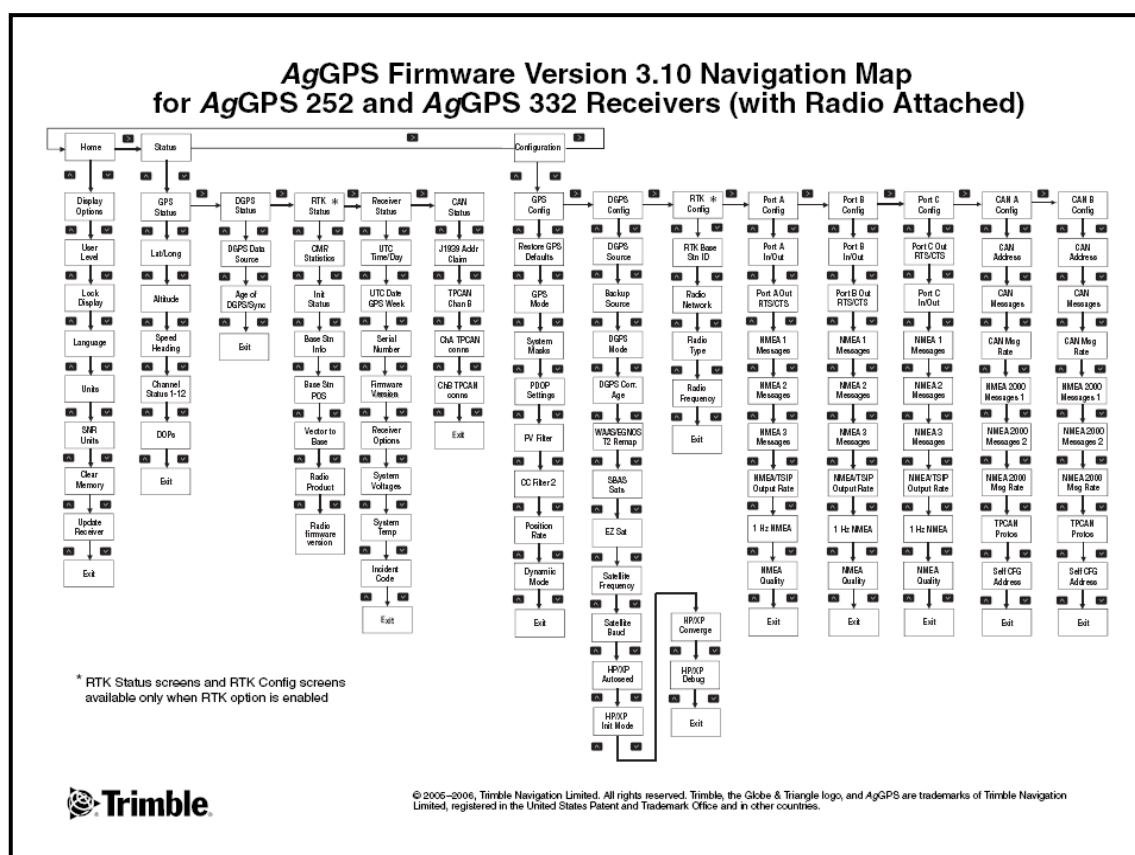


Figura A-19: Mapa de configuració del receptor.



Figura A-20: Exemple d'estació de referència DGPS.

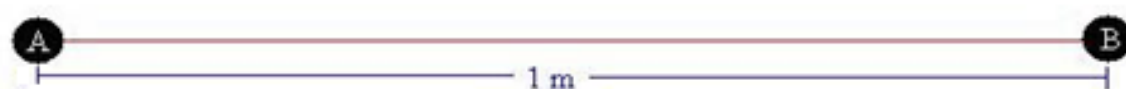


Figura A-21: Croquis de la col·locació de l'antena. Els centres d'ambdós punts disten 1 metre.



Figura A-22: Detall dels dos estacionaments de l'antena, B i A.



Figura A-23: Vista general de l'antena GPS mòbil i de la de la xarxa CatNet de l'ICC situada al punt més alt de l'edifici 4 (a la dreta de la imatge).



Figura A-24: Distribució dels aparells durant la presa de dades.



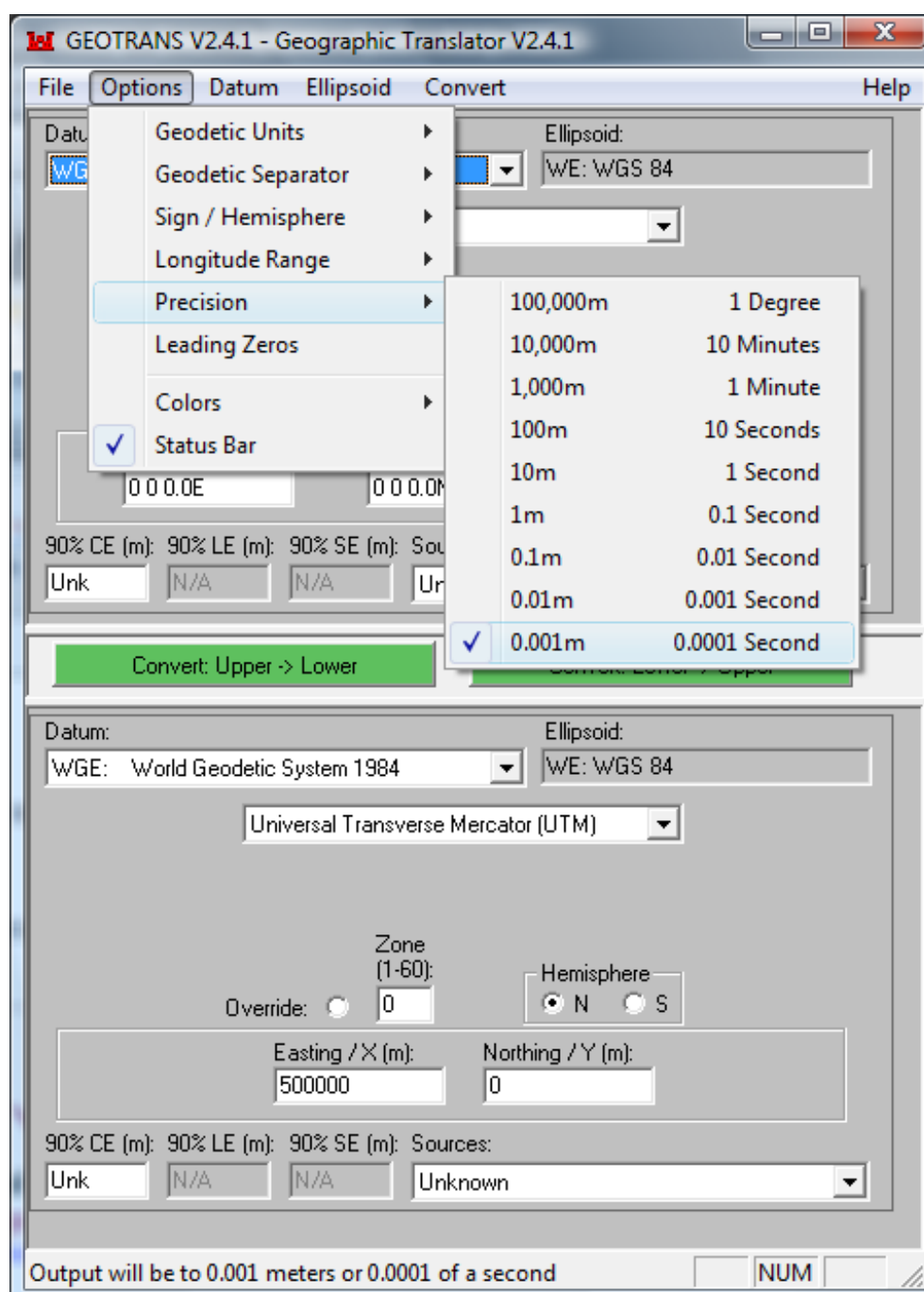


Figura A-25: Programa Geotrans. Detall de la configuració per a una precisió de conversió de mil·límetres.

**GEOTRANS File Processing**

**INPUT**

Datum: WGE: World Geodetic System 1984 Ellipsoid: WE: WGS 84

Geodetic Coordinates

No Height

**OUTPUT**

Datum: EUR-7: EUROPEAN 1950, Mean (7 Param) Ellipsoid: IN: International 1924

Universal Transverse Mercator (UTM)

Zone (1-60): 0

Override ☐

OK Help Cancel

Figura A-26: Programa Geotrans. Detall de la configuració de l'arxiu per a la conversió de les coordenades.

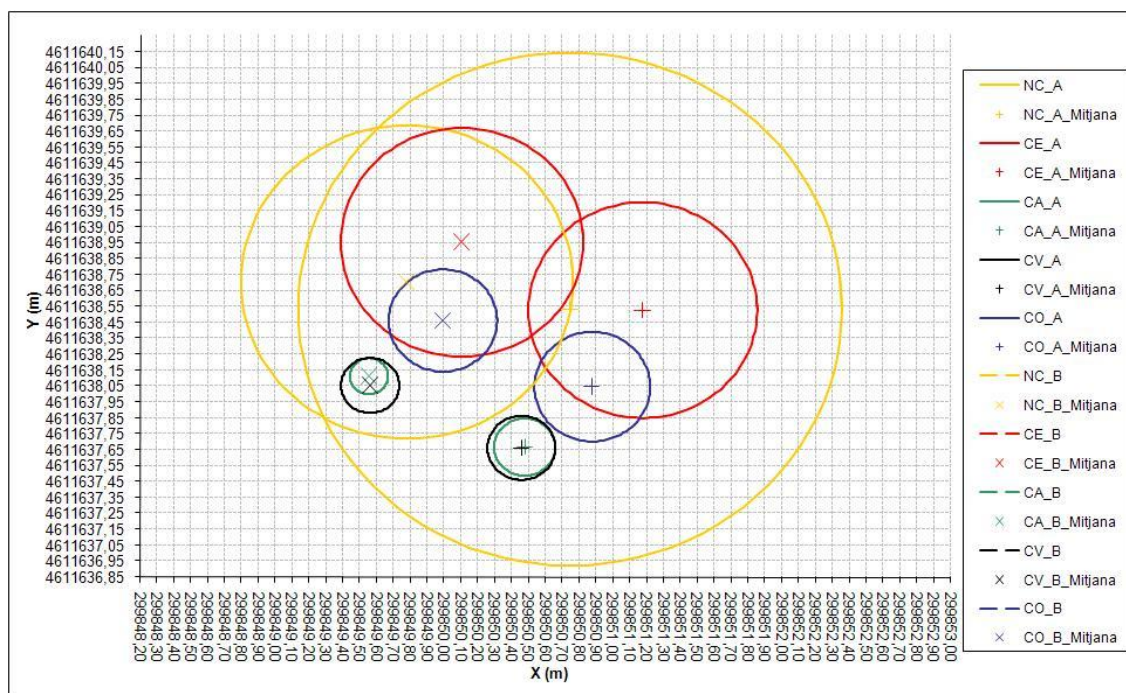


Figura A-27: Representació gràfica dels resultats de totes les lectures.

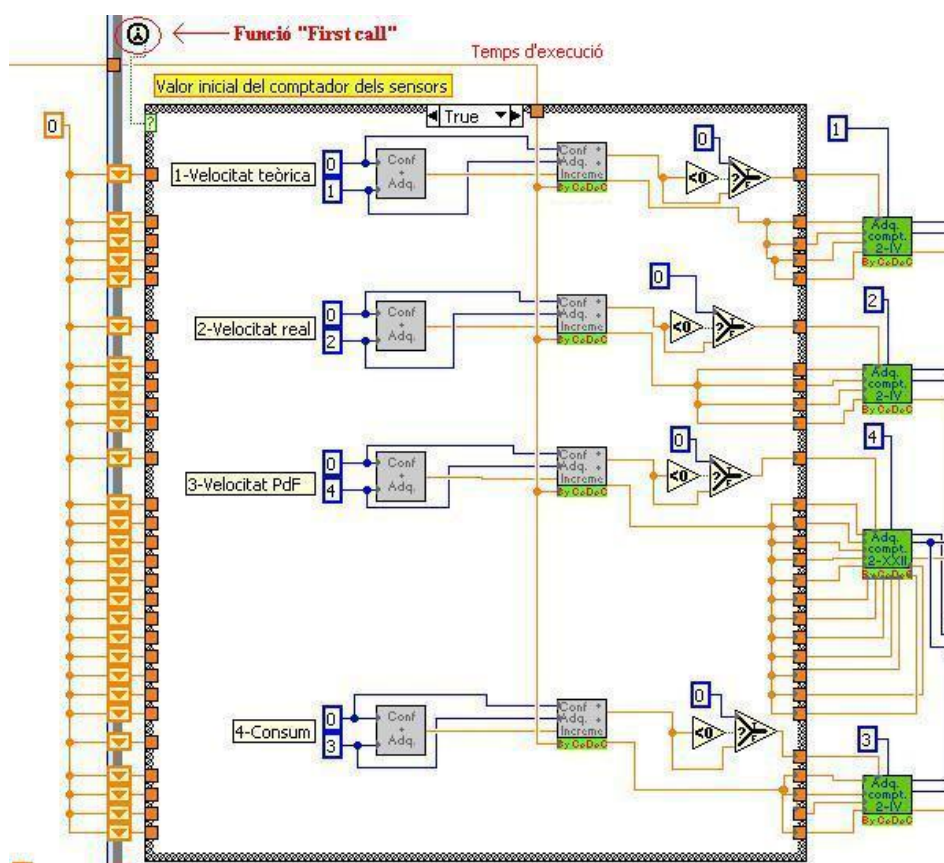


Figura A-28: Captura de pantalla del detall de la programació per al valor inicial dels sensors de polsos.

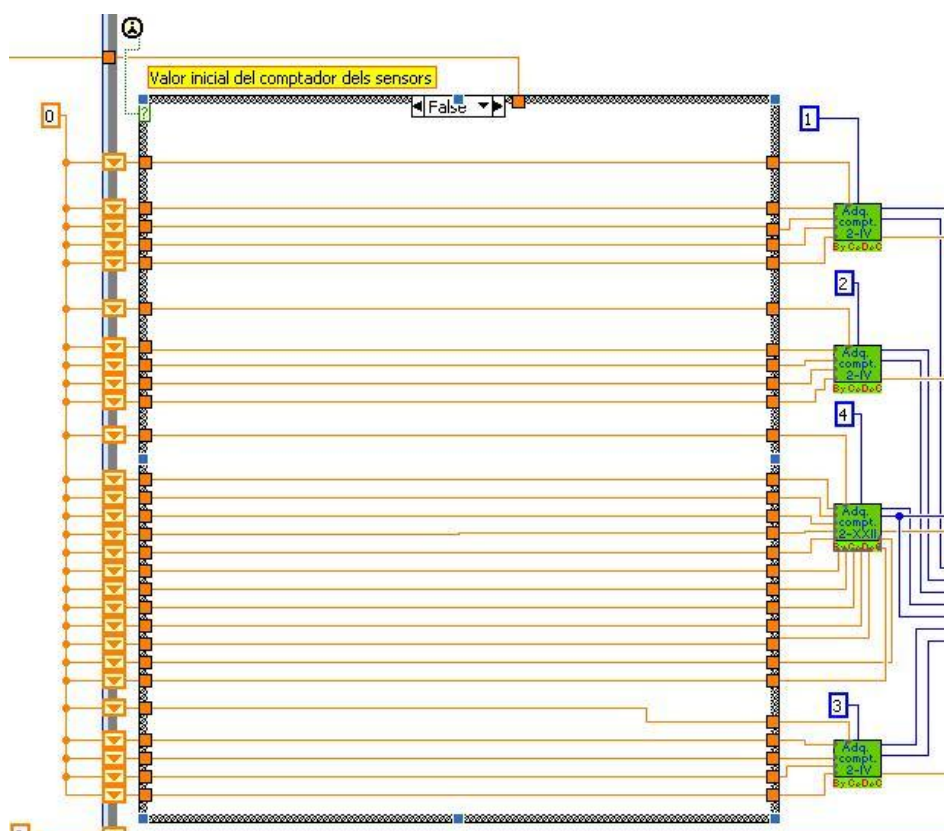


Figura A-29: Captura de pantalla del detall de la programació per als valors no inicials dels sensors de polsos.

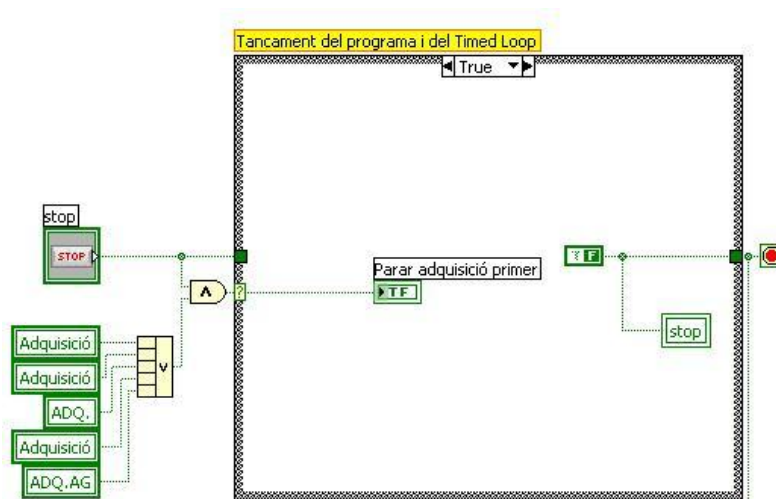


Figura A-30: Captura de pantalla d'un detall del diagrama de blocs corresponent a la funció de tancament del programa.

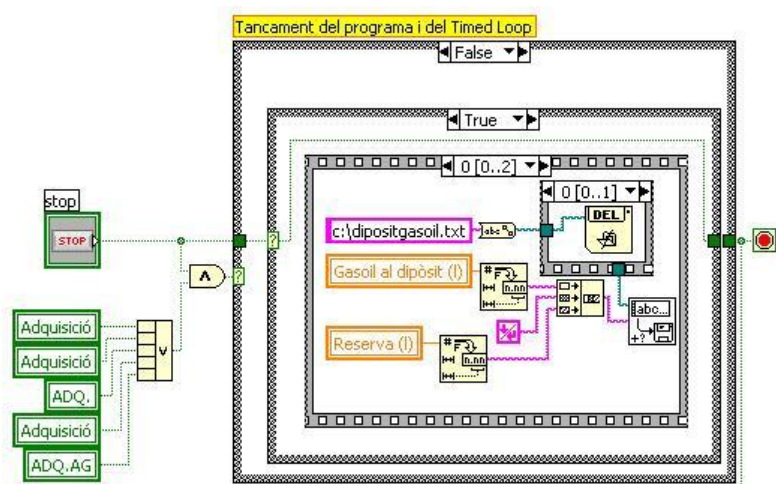


Figura A-31: Captura de pantalla d'un detall del diagrama de blocs corresponent al primer pas per a aturar el programa.

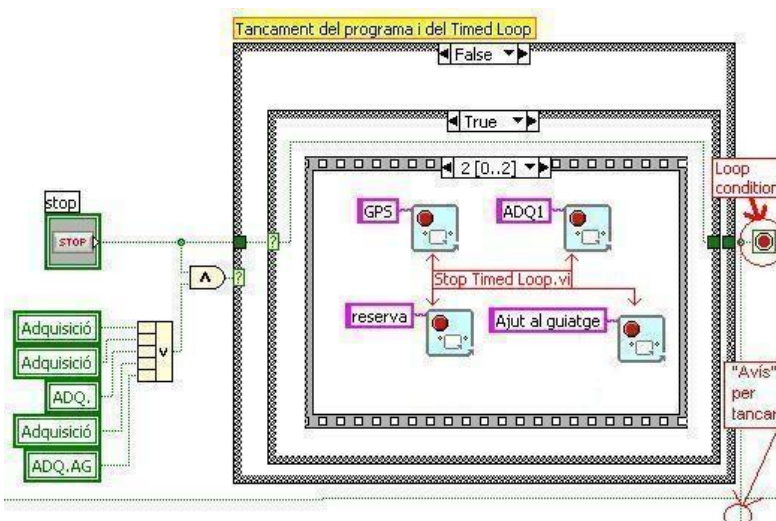


Figura A-32: Captura de pantalla d'un detall del diagrama de blocs corresponent al tercer pas per a aturar el programa.



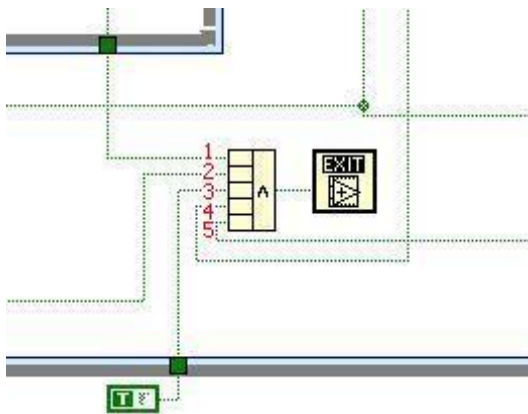


Figura A-33: Captura de pantalla d'un detall del diagrama de blocs corresponent a la funció "Exit" del LabView®.

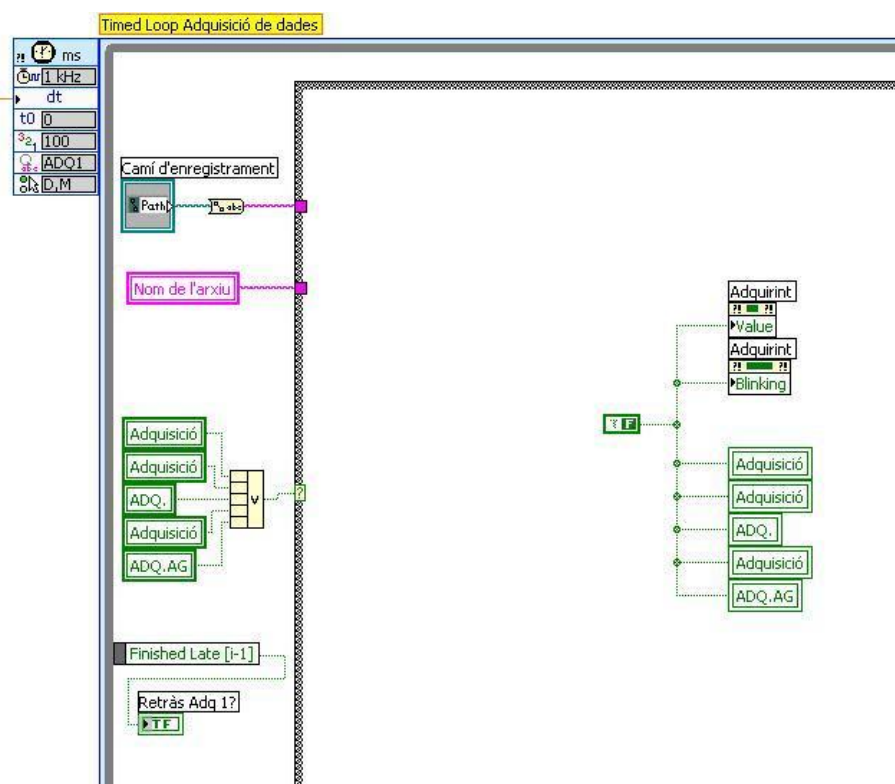


Figura A-34: Captura de pantalla on es mostra l'opció fals del bloc *Adquisició de dades*.

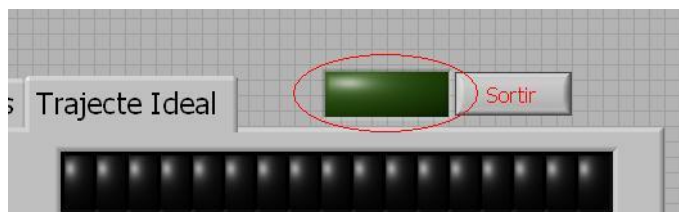


Figura A-35: Captura de pantalla on es mostra l'indicador lluminós de l'adquisició quan aquesta està desactivada.

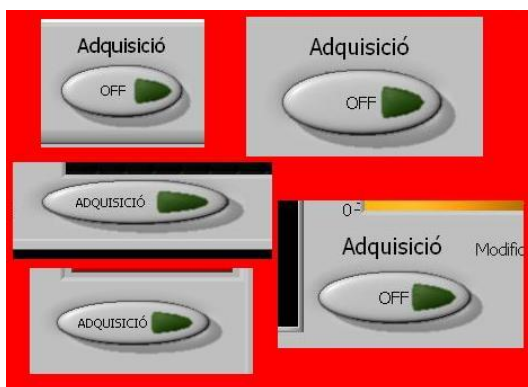


Figura A-36: Captura de pantalla dels diferents botons d'adquisició situats en pantalles diferents.



Figura A-37: Captura de pantalla corresponent al teclat QWERTY apte per a una pantalla tàctil.

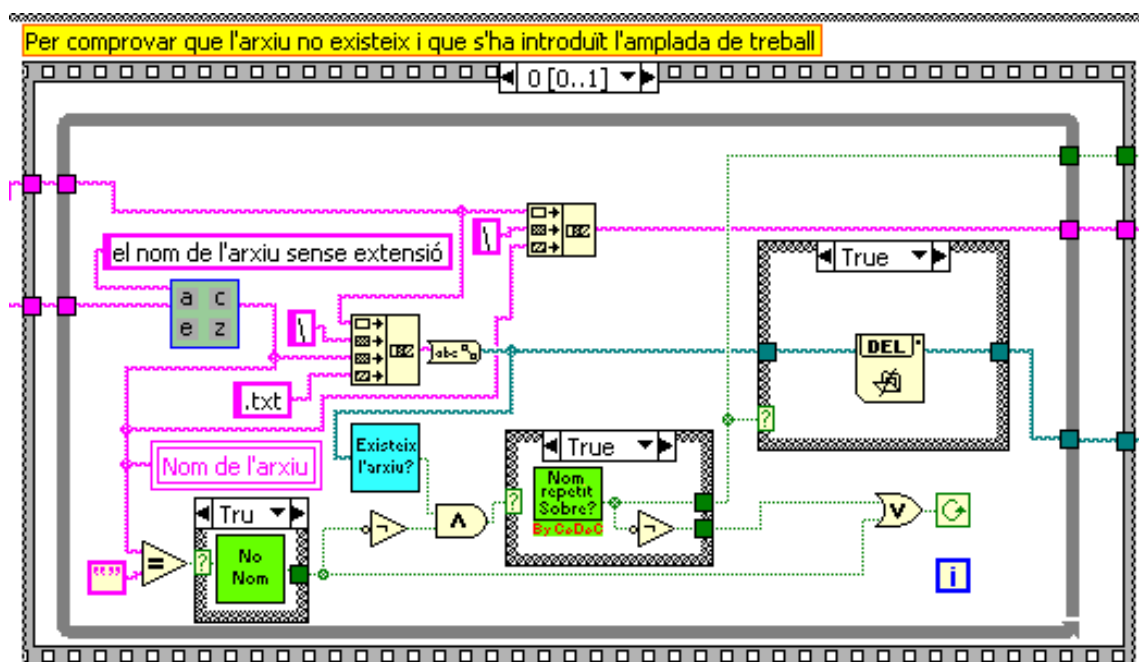


Figura A-38: Captura de pantalla corresponent al bucle per a validar el nom de l'arxiu de dades.

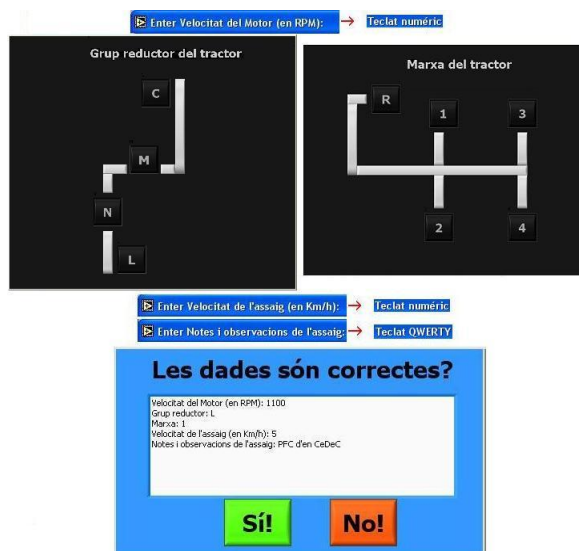


Figura A-39: Agrupació de retalls de captures de pantalla corresponents a la seqüència per a l'entrada de la repetibilitat de l'assaig.



Figura A-40: Captura de pantalla corresponent al diàleg per a reiniciar els comptadors acumulats.



Figura A-41: Captura de pantalla corresponent al diàleg per a confirmar si es continua amb els valors acumulats anteriors.



Figura A-42: Captura de pantalla corresponent al diàleg quan el mostratge s'inicia amb els valors acumulats anteriorment.



Figura A-43: Captura de pantalla corresponent al diàleg quan s'inicia el mostratge.

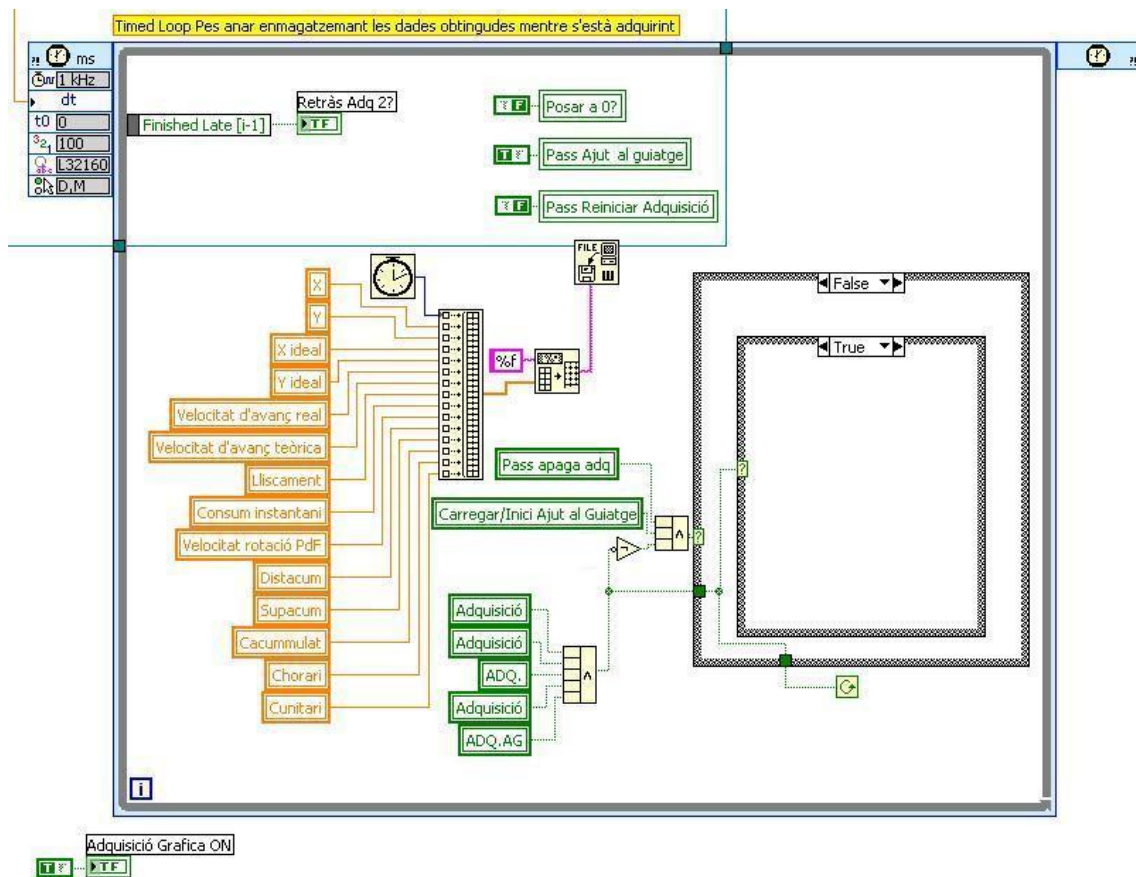


Figura A-44: Captura de pantalla corresponent a la imatge on es mostra el bucle d'enregistrament de dades.

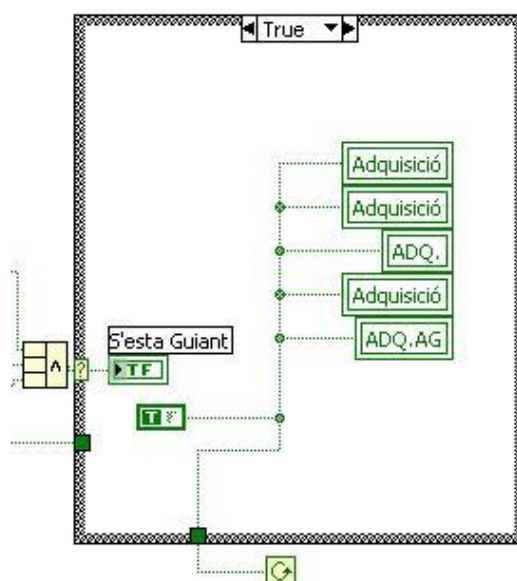


Figura A-45: Captura de pantalla corresponent a la programació cert de la primera funció condicional.

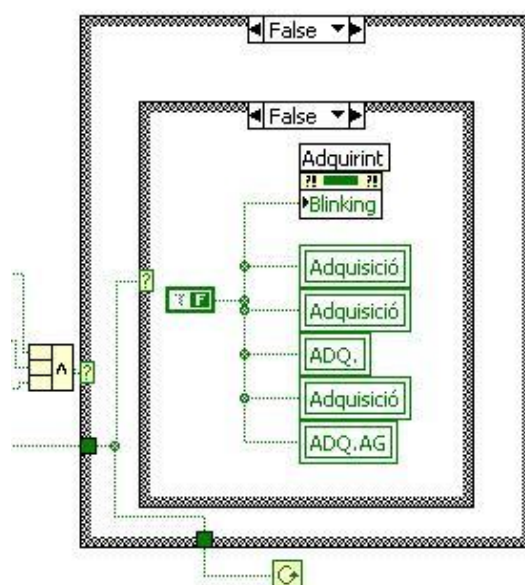


Figura A-46: Captura de pantalla on es mostra que quan s'atura l'adquisició es desactiven tant els polsadors d'adquisició com el mode d'intermitència de l'indicador "ADQUIRINT".



Figura A-47: Captura de pantalla on es mostra l'indicador lluminós "ADQUIRINT" quan està activat.

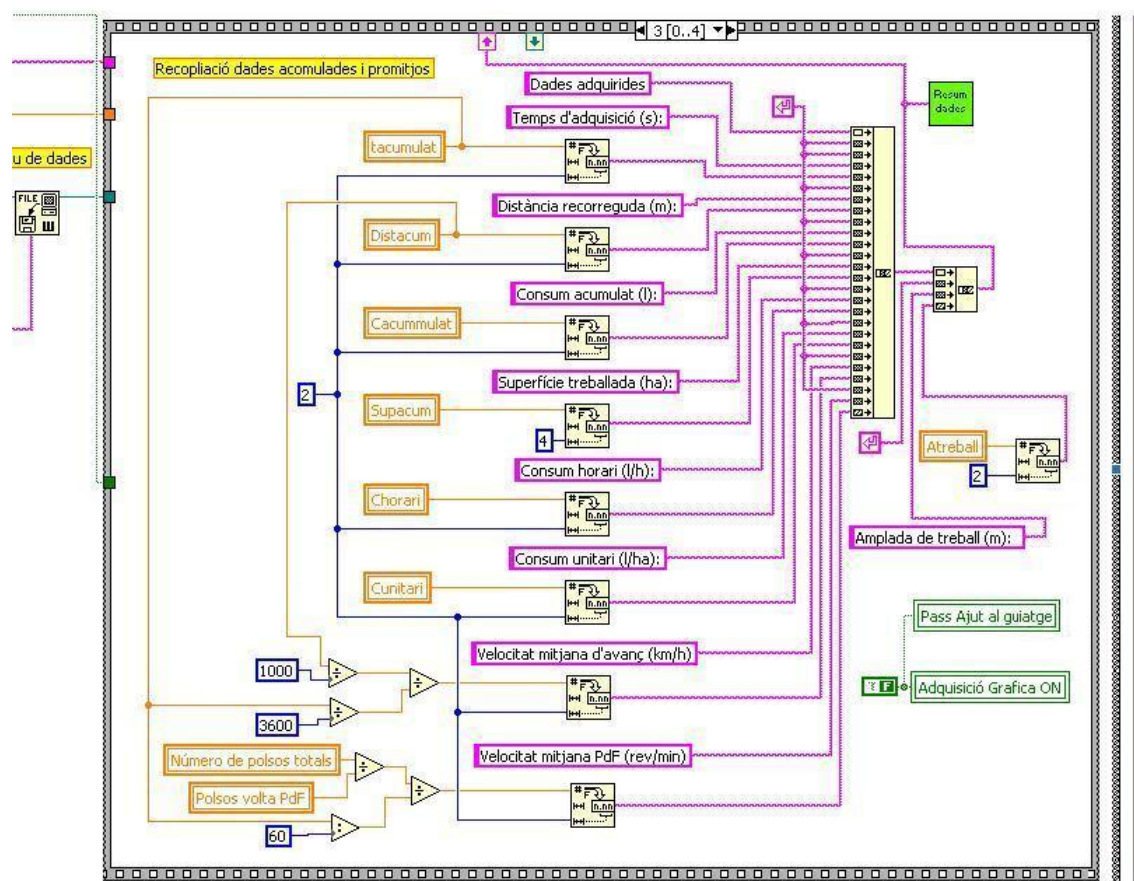


Figura A-48: Captura de pantalla corresponent a la creació del resum de les dades.

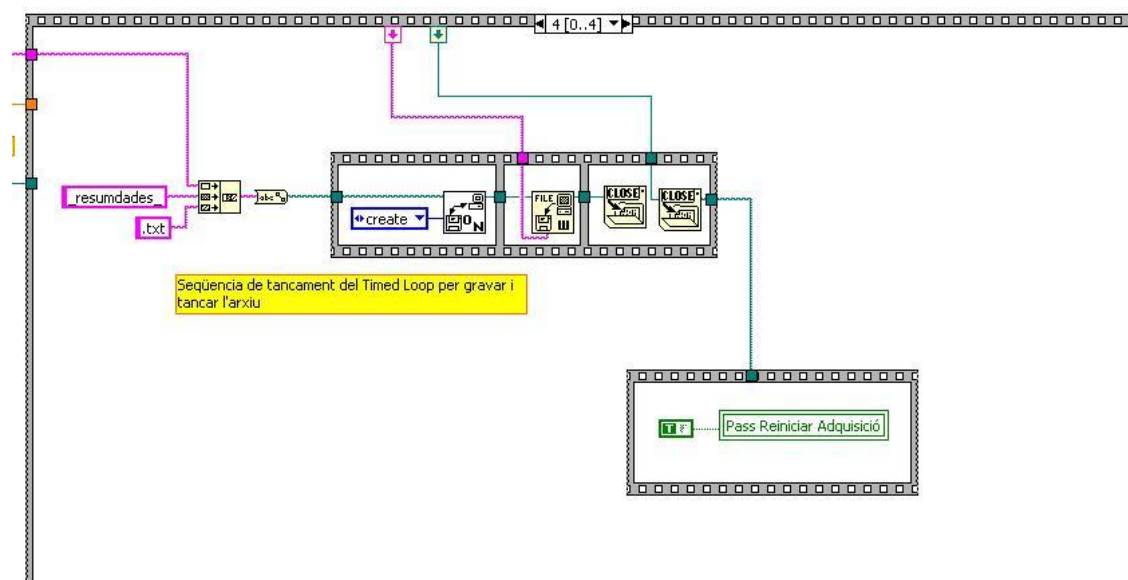


Figura A-49: Captura de pantalla corresponent a l'última seqüència del bucle "Adquisició".





Figura A-50: Captura de pantalla corresponent a la interfície del resum de les dades.

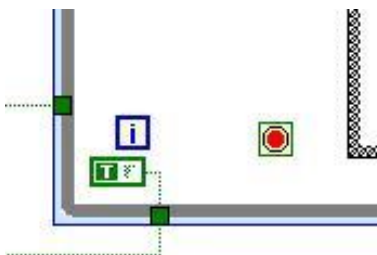


Figura A-51: Captura de pantalla corresponent a l'avís d'aturada del bucle *Adquisició de dades*.

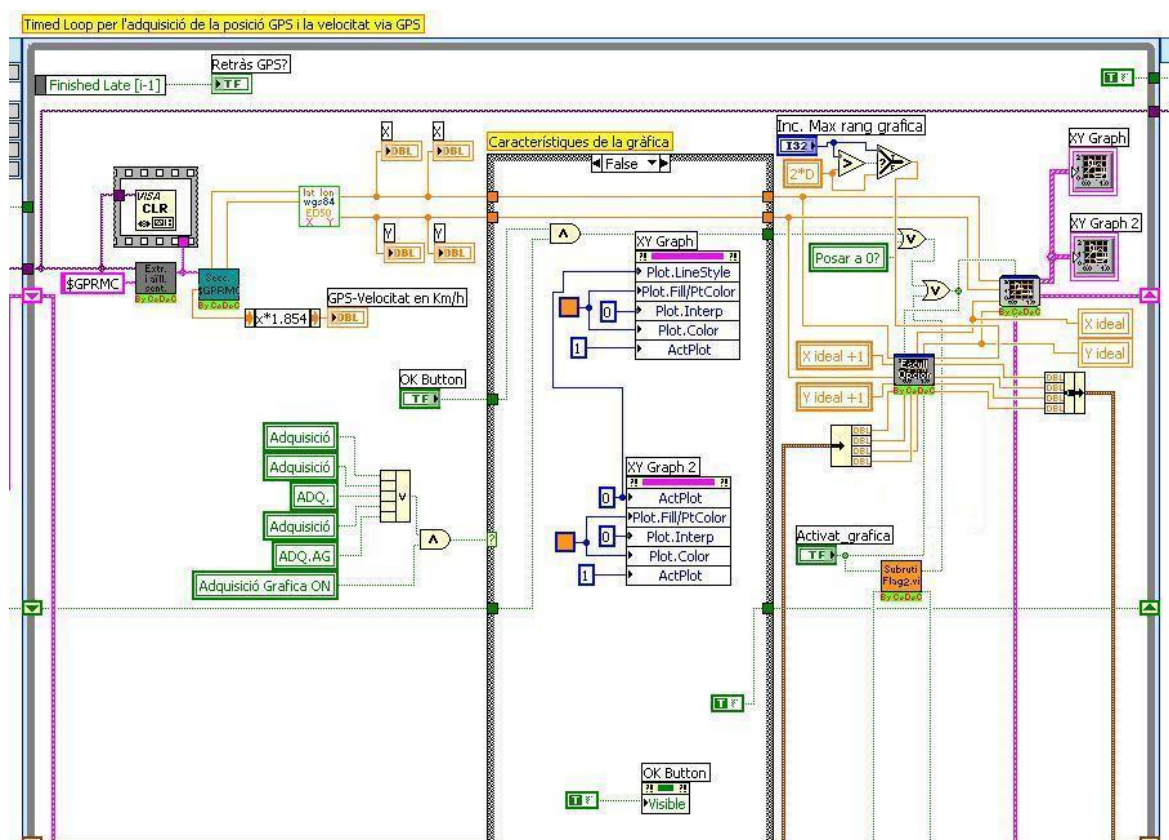


Figura A-52: Captura de pantalla del diagrama de blocs on es veu l'estructura iterativa *Timed Loop* per a l'adquisició de la posició GPS i la velocitat via GPS.

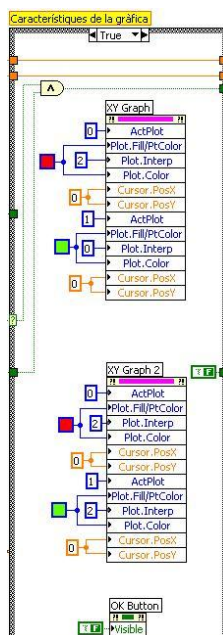


Figura A-53: Captura de pantalla del diagrama de blocs mostrant la configuració de les gràfiques quan l'adquisició està activada.

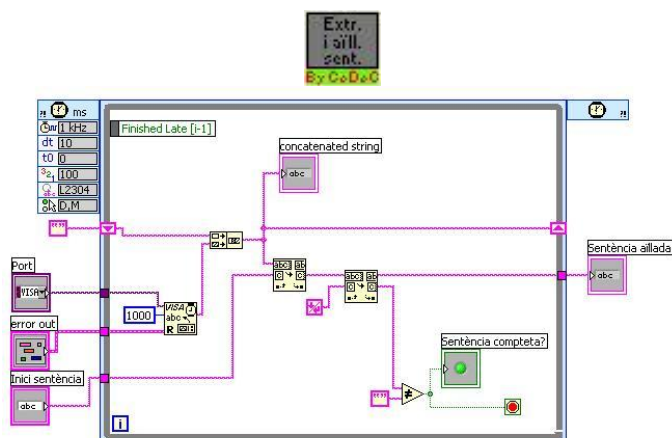


Figura A-54: Captura de pantalla del diagrama de blocs de la subrutina *Sub GPS-While per aïllar sentència\_CeDeC.vi*

```
$GPRMC,142243,V,4137.771477,N,00035.765280,E,000.01,269.1,300408,3.1,W,N*2F
```

0 sentència	\$GPRMC	
1 hora UTC	142243	
2 estat	A/V	A= vàlid / V= no vàlid
3 latitud	4.137.771.477	
4 indicador N/S	N	
5 longitud	35.765.280	
6 indicador E/W	E	
7 velocitat en nusos	000.01	
8 sistema control ruta	269.1	direcció seguida en graus correctes
9 Data UTC	300408	
10 variació magnètica	3.1	graus
11 E/W_variació magnètica	W	direcció
12 indicador de mode	A/D/E/N	A= autònom / D=diferencial / E o S=estimati / N= valor no vàlid
13 numero control	*2F	

Figura A-55: Captura de pantalla del diagrama de blocs on es mostra la informació aportada per la sentència NMEA \$GPRMC.



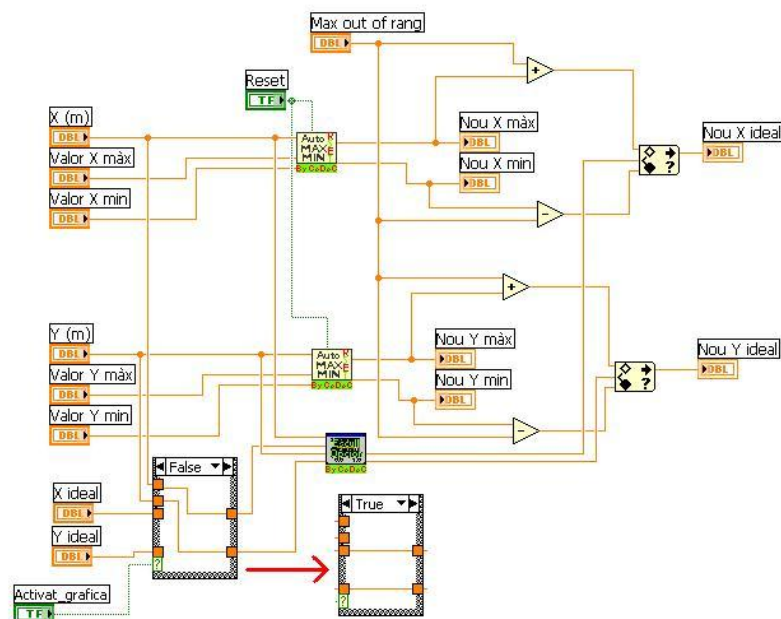


Figura A-56: Captura de pantalla del diagrama de blocs de la subrutina *Sub AG escull valor gràfica no zero.vi*.

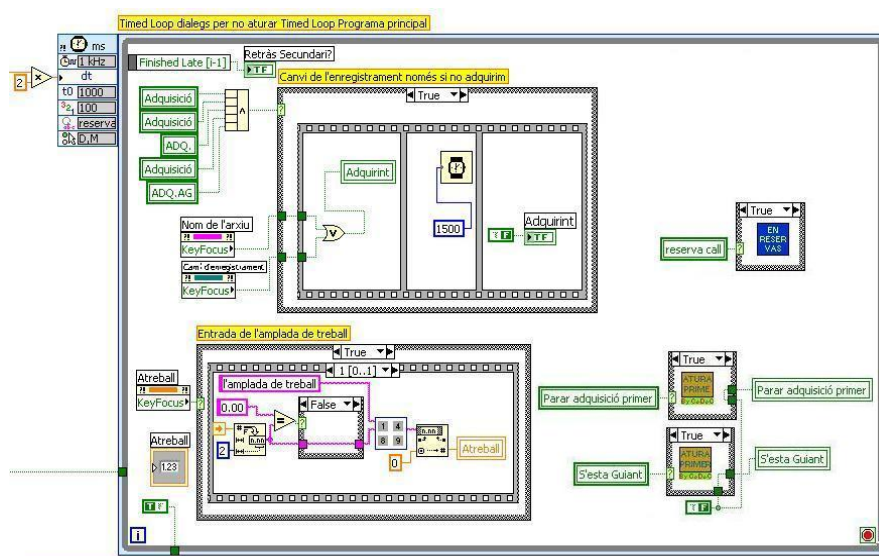


Figura A-57: Captura de pantalla del diagrama de blocs del bucle *Diàlegs per a no aturar el Programa principal*.



Figura A-58: Captures de pantalla de la posició relativa en el bucle i de la interfície del diàleg que apareix per manca de combustible.



Figura A-59: Captures de pantalla de la posició relativa en el bucle i de la interfície del diàleg per a aturar primer l'adquisició.



Figura A-60: Captures de pantalla de la posició relativa en el bucle i de la interfície del diàleg per a aturar primer l'ajut al guiatge.

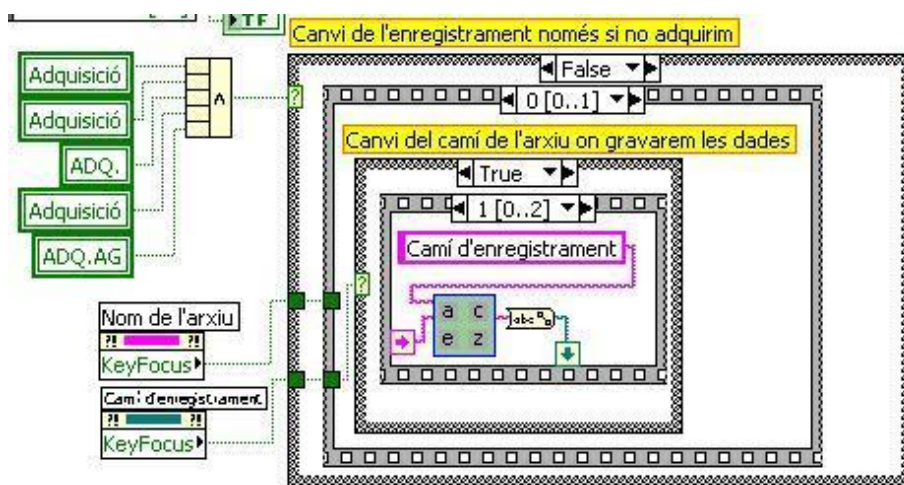


Figura A-61: Captura de pantalla del diagrama de blocs per a l'entrada o modificació del "Camí d'enregistrament".

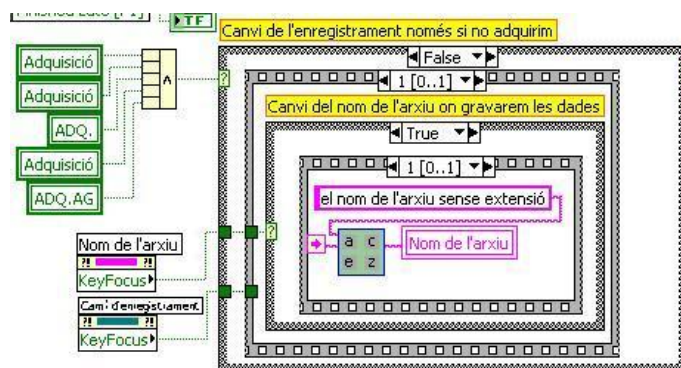


Figura A-62: Captura de pantalla del diagrama de blocs per a l'entrada o modificació del "Nom de l'arxiu".

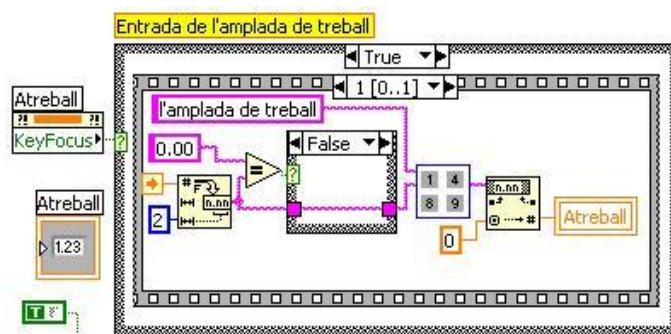


Figura A-63: Captura de pantalla del diagrama de blocs per a l'entrada o modificació de l'"Amplada de treball".

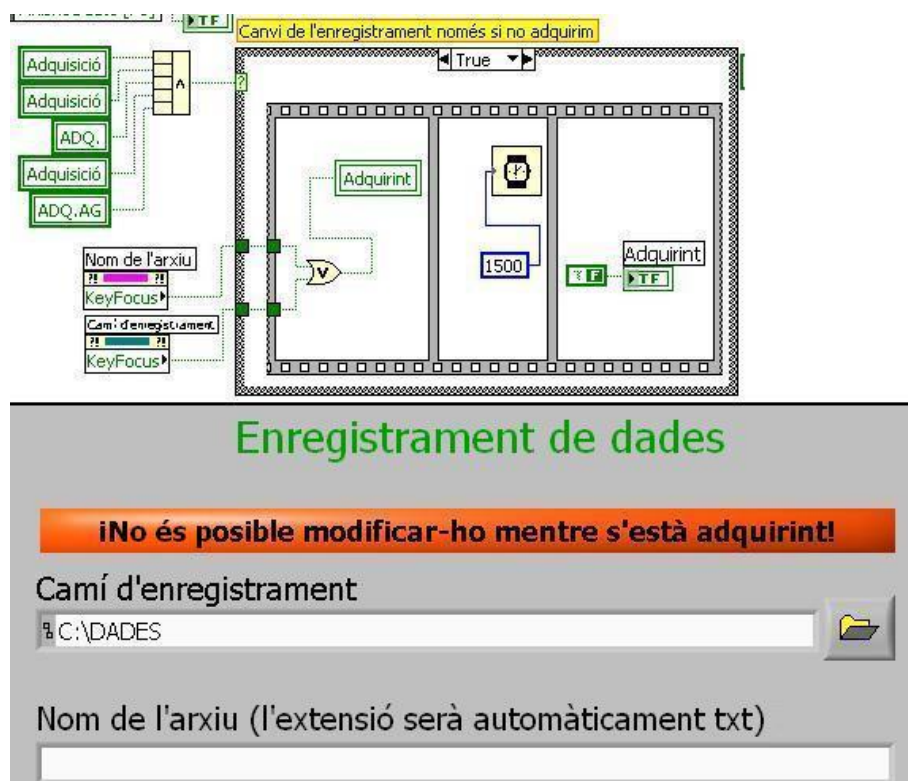


Figura A-64: Captures de pantalla de la posició relativa en el bucle i de la part de la interfície on apareix el diàleg informant que no es pot modificar perquè s'està adquirint.

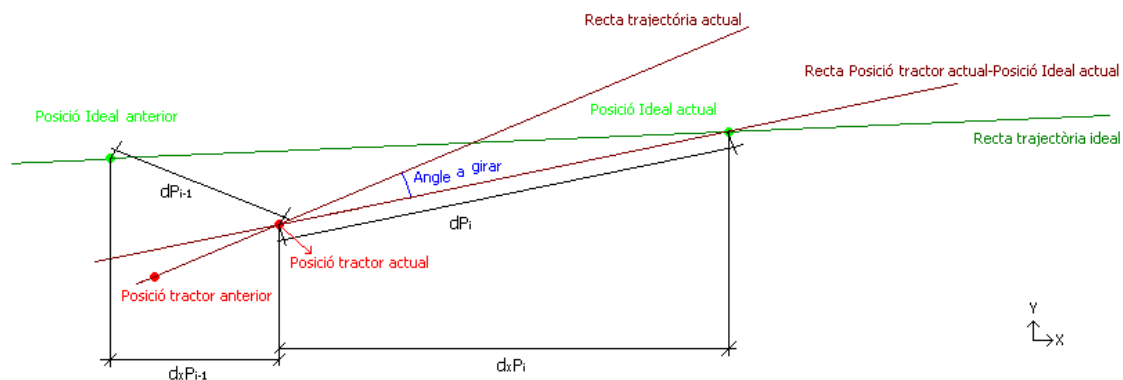


Figura A-65: Esquema del principi de funcionament del guiatge.

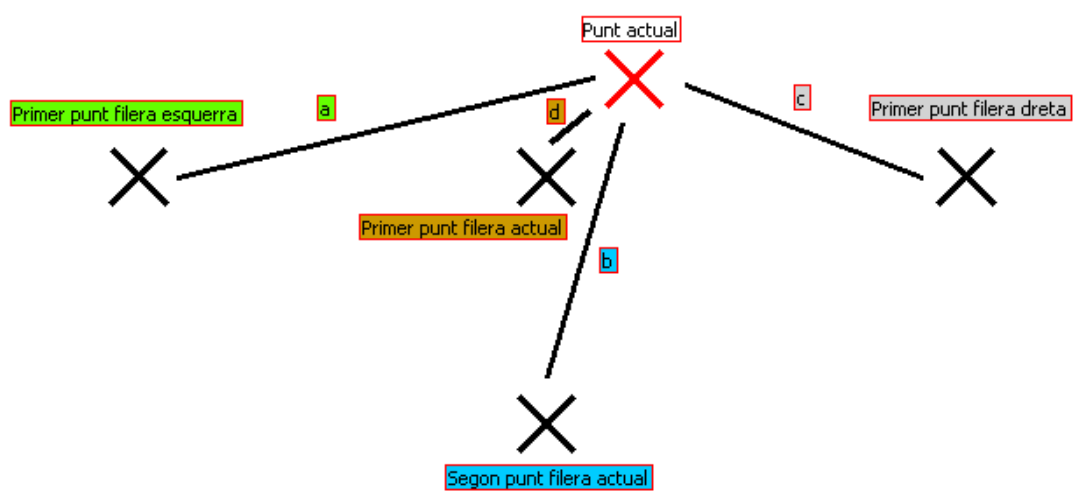


Figura A-66: Esquema del funcionament per a la presa de decisió del mòdul previ al guiatge.

## Annex B: Figures corresponents a l'explicació del mòdul Ajut al Guiatge

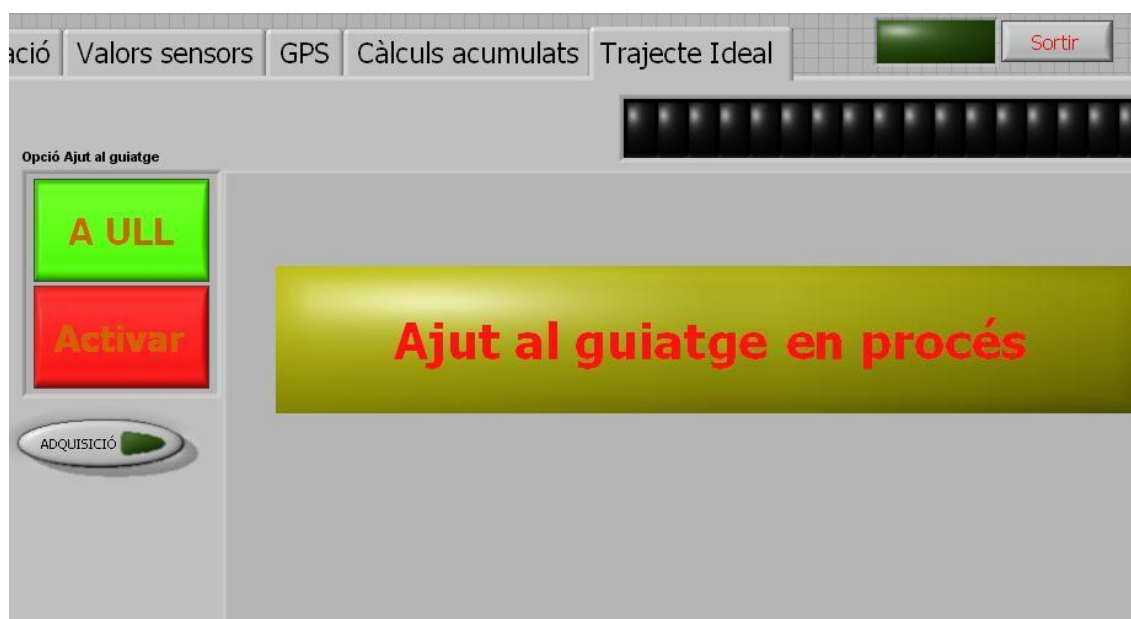


Figura B-1: Captura de pantalla de la interfície de la pestanya de l'ajut al guiatge, guiatge manual.

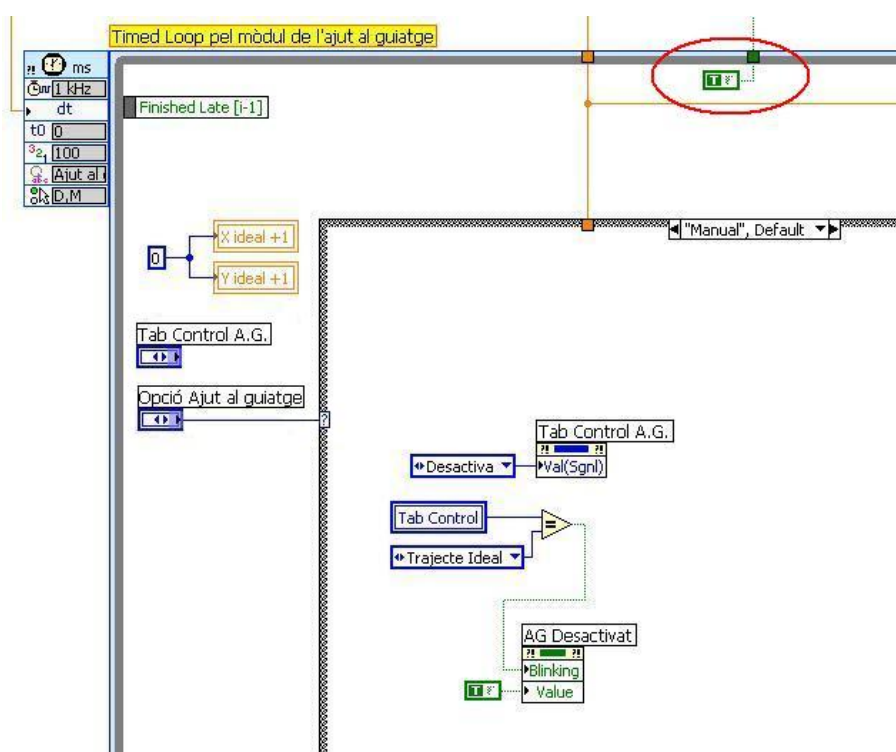


Figura B-2: Captura de pantalla del diagrama de blocs corresponent a la programació de la pestanya de l'ajut al guiatge, guiatge manual.



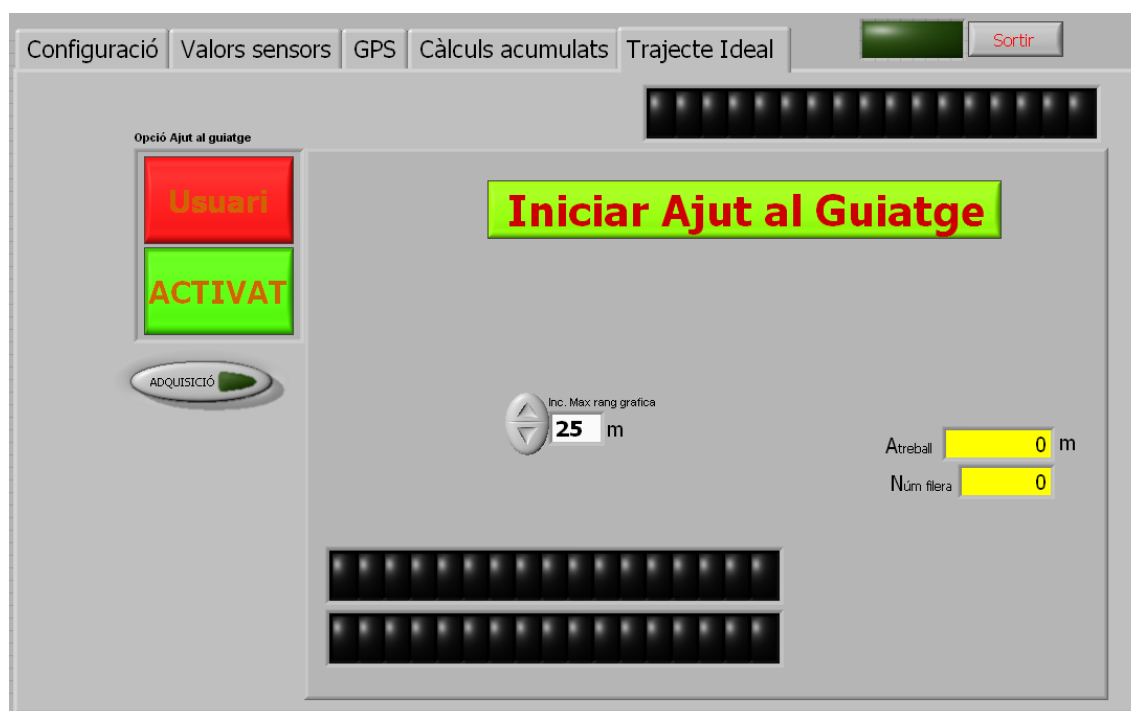


Figura B-3: Captura de pantalla de la interfície de la pestanya de l'ajut al guiatge, pendent d'activació.

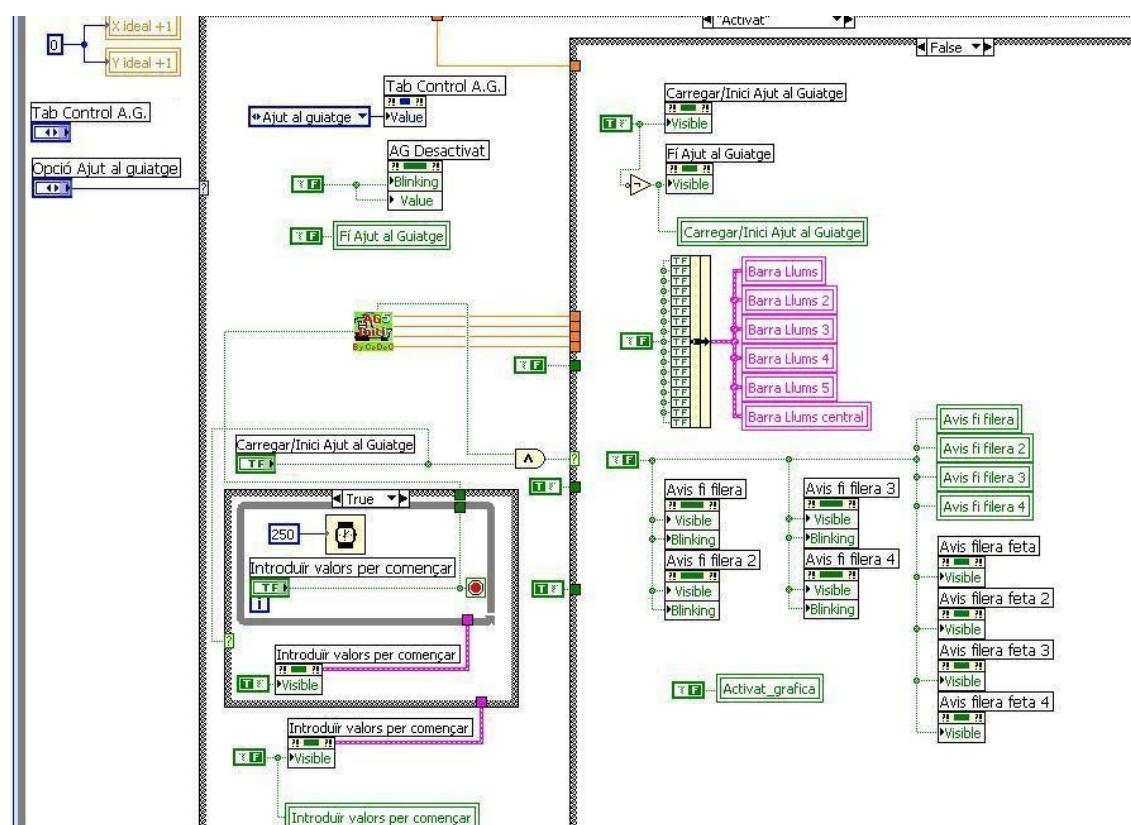


Figura B-4: Captura de pantalla del diagrama de blocs on es mostra la programació de la pestanya de l'ajut al guiatge, pendent d'activació.



Figura B-5: Captura de pantalla de la pestanya *Trajecte Ideal* quan l'ajut al guiatge està pendent de la introducció de valors.



Figura B-6: Captures de la interfície del diàleg informatiu per a introduir correctament la recta ideal de referència.

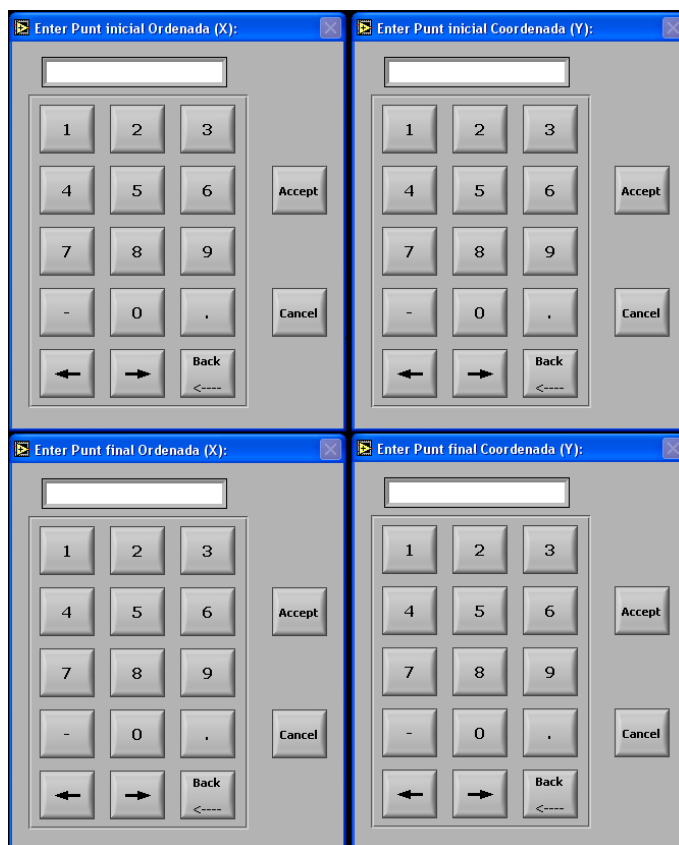


Figura B-7: Mosaic de captures de pantalla on es mostra els teclats numèrics d'entrada de les coordenades.



Figura B-8: Captura de pantalla on es mostra el diàleg de confirmació de les coordenades de la recta.

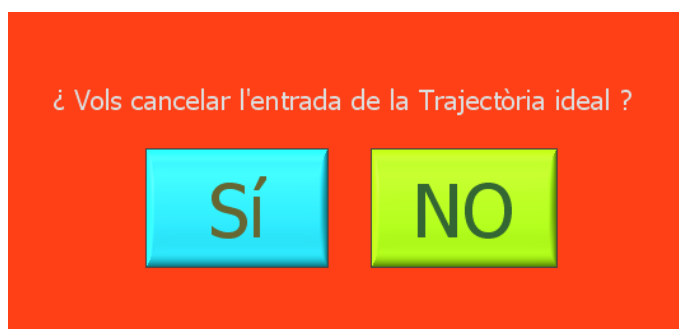


Figura B-9: Captura de pantalla on es mostra el diàleg per a avortar o reintentar l'entrada de la recta.



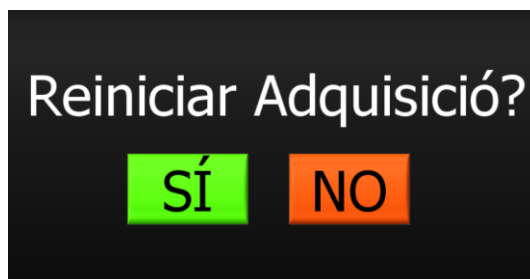


Figura B-10: Captura de pantalla on es mostra el diàleg que permet canviar el nom d'enregistrament.

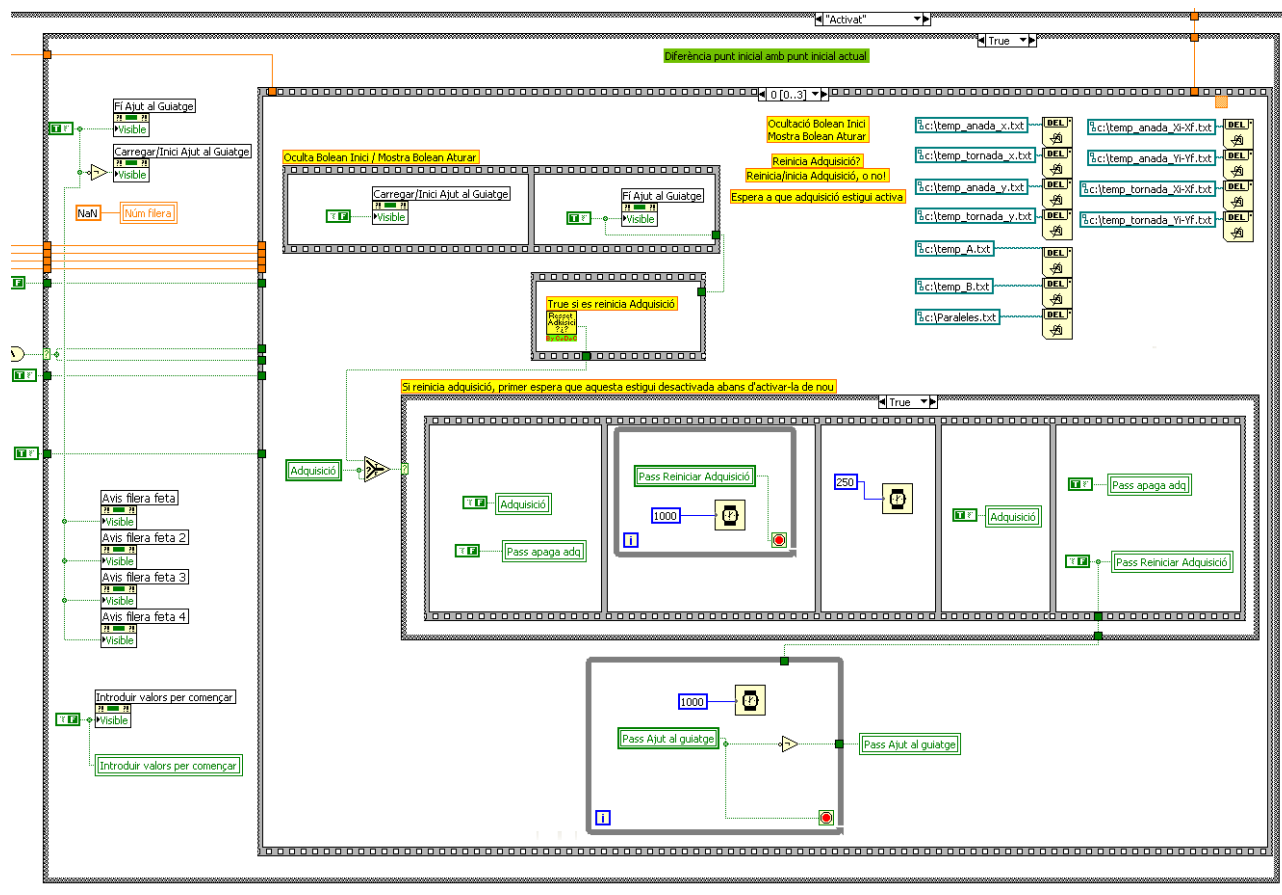


Figura B-11: Captura de pantalla on es mostra la programació seqüencial necessària per a reiniciar l'adquisició.

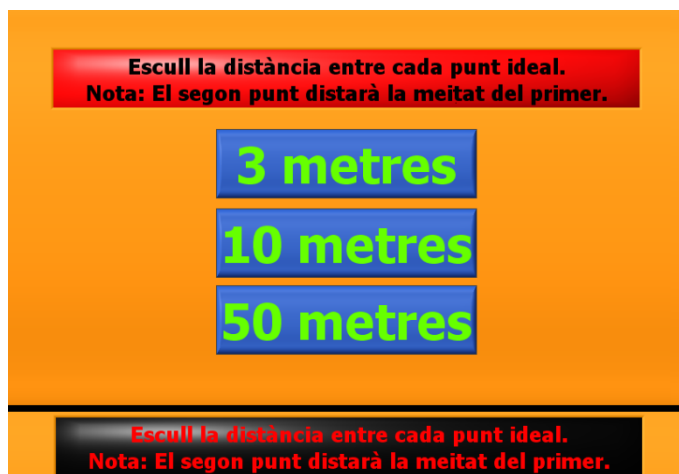


Figura B-12: Captura de pantalla del diàleg per a escollir la distància entre punts sobre la recta de referència.



Figura B-13: Captura de pantalla del diàleg per a confirmar la distància entre punts sobre la recta de referència.



Figura B-14: Captures de pantalla corresponents als dos estats del visor de la disponibilitat de la passada.



Figura B-15: Captura de pantalla del visor de finalització de passada.

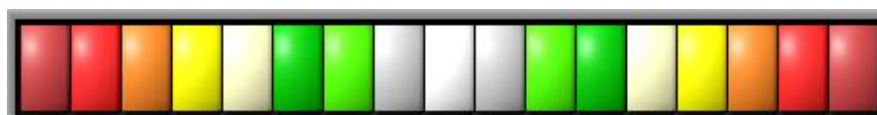


Figura B-16: Captura de pantalla on es representa la barra de llums amb totes les llums enceses.

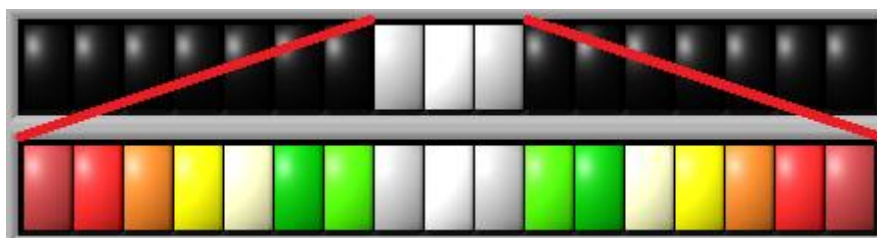


Figura B-17: Captura de pantalla on es representa el rang de visió de la barra central.










Barra de llums normal			Barra de llums central		
	<u>Radians</u>	<u>Graus</u>		<u>Radians</u>	<u>Graus</u>
	>1,310	>75,057		>0,090	>5,157
	>1,050	>60,161		>0,077	>4,412
	>0,790	>45,264		>0,064	>3,667
	>0,520	>29,794		>0,051	>2,922
	>0,260	>14,897		>0,038	>2,177
	>0,170	> 9,740		>0,025	>1,432
	>0,090	> 5,157		>0,012	>0,688
	<0,090	< 5,157		<0,012	<0,688
	≈0,000	≈ 0,000		≈0,000	≈0,000

Figura B-18: Correlació entre el color de la barra de llums i l'angle numèric.

## Annex C: Diagrama de flux complert del programa finalitzat en A3

